elektronik system

NKM Baukasten

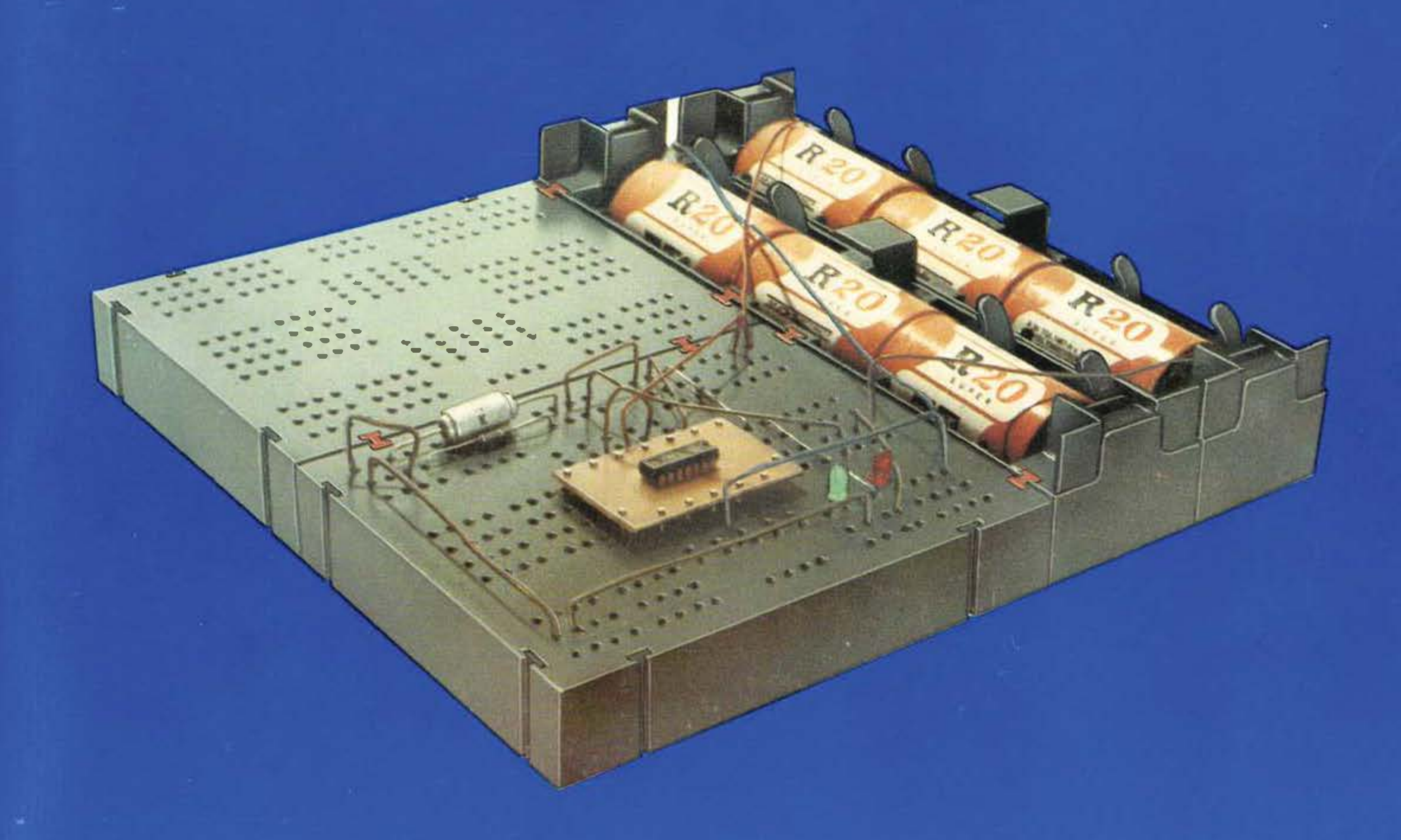
Anleitungsheft 1

Einfache elektronische Schaltungen

Mit diesem Anleitungsheft
des NKM Baukastensystems
können 46 interessante Schaltungen
realisiert werden, wie

- Warnblinkanlage
- Transistorprüfgerät
- Morsegenerator
- Zeitschalter
- Rücklichtkontrolle
- Elektronische Sirene
- Digitalschaltungen

Der schnelle und fehlerfreie Aufbau
jeder Schaltung ist mit dem im
Anleitungsheft enthaltenen Aufbauplan
unkompliziert.
Zahlreiche Abbildungen unterstützen
die Arbeit mit dem Baukasten.



Die wichtigsten Bauelemente des Baukastens

Benennung des Bauelementes	Abbildung	Schaltzeichen	Kurzbezeichnung	Darstellung im Aufbauplan
Schichtwiderstände (Auswahl) Bauform: 23.207 TGL 36521 120 Ohm 2,7 kOhm 100 kOhm 1 MOhm	120 R 2K7 100K 1M0		R	
Elektrolytkondensatoren (Elyt-Kondensatoren) Beispiel: 100 µF/10 V TGL 38908	Frolyt 100/10		C	
Polyesterkondensatoren (KT-Kondensatoren) 100 nF/160 V TGL 38159 6,8 nF/160 V TGL 38159 1 nF/160 V TGL 200-8424	100 n 6n8 1n0		C	
Lichtemitterdioden (LED) VQA 13-1 TGL 38468 (rot leuchtend) VQA 23 TGL 34817 (grün leuchtend)	K K	A K A-Anode K-Katode	VD	A K
Diode (Silizium-Schaltdiode) SAY 20 TGL 25184	blauer Ring = Katode	A K	VD	A K
Modul A1 bestückt mit einer Lautsprecherbuchse	2 A1 XB 1		XB	1 A1 2

Anleitungsheft 1

In den letzten Jahren nahm die Anwendung der Elektronik einen bahnbrechenden Aufschwung. Alle Lebensbereiche des Menschen werden davon berührt: Unterhaltungselektronik, Rechen- und Computertechnik, Prozeßsteuerungen von modernen Industrieanlagen oder moderne Haushaltgeräte.
Die Mikroelektronik ermöglicht die Entwicklung und Einführung moderner Informations- und Kommunikationstechnik.
Die Lösung der dabei auftretenden Probleme erfordert Spezialkenntnisse. Mit deren Erwerb kann nicht früh genug begonnen werden, zumal in Zukunft die Bedeutung der Mikroelektronik weiter anwachsen wird.
Mit diesem Baukasten können Kenntnisse über moderne Bauelemente und Schaltungen erworben werden. Dazu tragen eine Vielzahl von interessanten Versuchen bei. Das Anleitungsmaterial gibt die notwendigen Erläuterungen zur Durchführung der Versuche und die theoretischen Erklärungen, verständlich für Interessenten ab 12 Jahre.
Das Vertrautmachen mit der Schaltung und deren Funktion erfolgt auf unkomplizierte Art und Weise. Der Schwierigkeitsgrad steigt mit den Versuchen.

Autor: Dr. Erhard Müller
fachwissenschaftliche Mitarbeit:
Ing. Gerd Dahlgrün; Dipl.-Ing. Frank Naumann;
Ing. Hans Meyer, Lehrer; Ing. Thomas Hasenwinkel;
Dipl.-Ing. Armin Tröltzsch; Ing. Frank Bergmann
Lektor: Dr. Werner Heinzel
Gestaltung: Ingolf Neumann und Detlev Becker/VBK Berlin
wissenschaftliche Gesamtleitung: Dipl.-Ing. Rainer Hoffmann

VEB Numerik "Karl Marx"
Karl-Marx-Stadt

Inhaltsverzeichnis

1. Hinweise zur Arbeit mit dem Baukasten

Der NKM-Baukasten beinhaltet als Grundbauteile zwei Aufbauplatten und zwei Batteriefächer. Alle Schaltungen werden auf den Aufbauplatten montiert.

Gelötet wird nicht! Die Kontakte zwischen den Bauelementen und den Zu- und Ableitungen werden durch einfach herzustellende und wieder zu lösende Steckverbindungen realisiert. Steckfedern übernehmen diese Aufgabe. Die Anschlüsse der Bauelemente und der Verbindungsleitungen (Kupferdraht 0,5 mm Durchmesser) werden in die Löcher der Aufbauplatten gesteckt, in denen die Kontakte der Steckfedern die elektrische Verbindung herstellen. Jede Steckfeder verbindet die Kontakte von vier Löchern der Aufbauplatten miteinander. Die Zuordnung der Löcher zu einer Steckfeder kann man auf den Aufbauplatten leicht erkennen. Die Stromversorgung erfolgt durch sechs Monozellen R 20, die in den beiden Batteriefächern untergebracht werden.

Bevor aber mit dem Aufbau der ersten Versuchsschaltung begonnen werden kann, müssen Aufbauplatten und Batteriefächer komplettiert und montiert werden. Dazu wird unter Punkt 1.1. eine Anleitung gegeben. Es ist zu empfehlen, sich vor der ersten Versuchsdurchführung die notwendige Sachkenntnis über die Bauelemente des Baukastens (Punkt 1.2.) und über das Anleitungsmaterial zu erarbeiten.

1.1. Komplettierung und Montage der Grundbauteile des NKM Baukastens

Der Baukasten enthält folgende Teile:

Bezeichnung	Anzahl
Aufbauplatte	2
Batteriefach	2
Verbindungselement	10
Unterteil A	2
Steckfeder	108
Kontaktfeder	4
Kegeldruckfeder	2

Jede Aufbauplatte ist mit 54 Steckfedern zu bestücken (Abb. 1.01). Zu diesem Zweck werden die Aufbauplatten mit der offenen Seite nach oben auf den Tisch gelegt und die Federn nacheinander in die dafür vorgesehenen Fächer gesteckt und zwar so, daß die glatte geschlossene Fläche nach oben zeigt. Abschließend wird das Unterteil montiert. Es wird mit seiner glatten Seite soweit in die Aufbauplatte hineingedrückt, bis es einrastet. Die Rippen und der Rand des Unterteils schließen mit dem unteren Rand der Aufbauplatte ab. Die Steckfedern werden durch das Unterteil sicher in ihren Fächern gehalten.

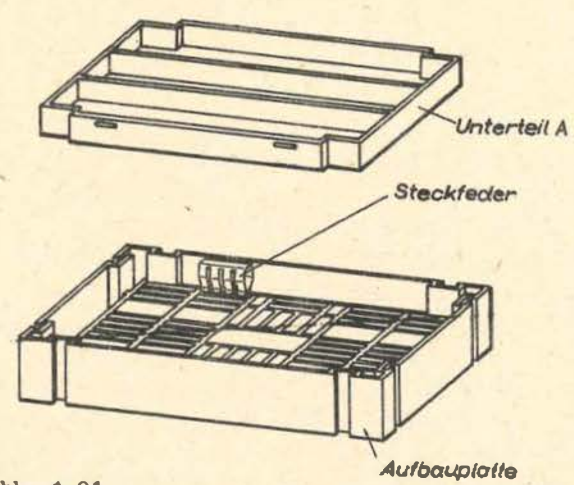


Abb. 1.01
Komplettierung der Aufbauplatten

Die Aufbauplatte wird nun nur noch gedreht und ist dann funktionsbereit. Eine Demontage der Aufbauplatten erfolgt nur, falls eine defekte Steckfeder gewechselt werden muß.

Jedes Batteriefach wird mit zwei Kontaktfedern und einer Kegeldruckfeder komplettiert. Zur Kontaktierung des positiven Pols genügt eine Kontaktfeder, zur Kontaktierung des negativen Pols ist neben der Kontaktfeder auch noch die Kegeldruckfeder notwendig. Beide sind vor dem Einbringen in das Batteriefach zu montieren. Dazu wird die Kegeldruckfeder mit ihrer ersten Windung auf die Häkchen der Kontaktfeder montiert (Abb. 1.02).

Jedes Batteriefach wird mit drei Monozellen R 20 bestückt. Die Monozellen werden nacheinander in der Mitte des Batteriefachs eingelegt, wobei der federnde Haken zurückgedrückt werden muß, und dann nach rechts und links zur

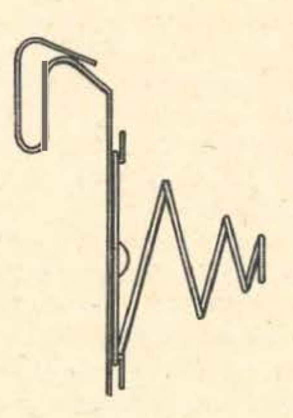


Abb. 1.02
Kontaktfeder mit Kegeldruckfeder

Seite geschoben. Die mittlere Monozelle wird zuletzt eingelegt.
Beim Einlegen der Monozellen auf die Polarität achten!
Die Lage der Monozellen und ihre Kontaktierung ist in Abb. 1.03 dargestellt. Ihre Minuspole zeigen in Richtung der Kegeldruckfedern.

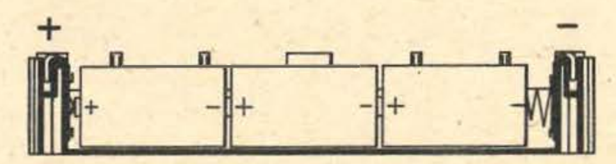


Abb. 1.03
Vollständig bestücktes Batteriefach mit 2 Kontaktfedern, 1 Kegeldruckfeder und 3 Monozellen R 20

Nach der Komplettierung der Aufbauplatten und Batteriefächer erfolgt die Montage der Grundbauteile. Beide Aufbauplatten werden längsseitig so aneinander gelegt, daß die Zahlen von oben nach unten und die Buchstaben von links nach rechts lesbar sind. Die Batteriefächer werden wie Abb. 1.04 zeigt an die Aufbauplatten gelegt. Danach werden die zehn Verbindungselemente in die dafür vorgesehenen Aussparungen eingesteckt, und zwar soweit, daß sie mit der Oberfläche der Aufbauplatten und Batteriefächer abschließen. Die vier Grundbauteile können problemlos wieder voneinander getrennt werden. Zu diesem Zweck werden die Verbindungselemente mit einem geeigneten Gegenstand nach oben aus den Aussparungen herausgeschoben. Man kann auch die Grundbauteile gegeneinander verschieben und auf diese Art die Verbindungen lösen.
An die Kontaktfedern der Batteriefächer werden Drähte geklemmt, die zur Aufbauplatte führen. Mann drückt von oben schräg auf die Kontaktfedern der Batteriefächer, bis die Löcher übereinander stehen. Der Draht wird eingesteckt und die Feder losgelassen.
An jeder Feder können zwei Drähte angeschlossen werden.
Zur Versuchsdurchführung benötigen wir in den meisten Fällen eine positive und eine negative Betriebsspannung. Diese gewinnen wir aus der Zusammenschaltung der sechs Monozellen R 20 in den Batteriefächern des Baukastens nach Abb. 1.05. Je drei Monozellen bilden eine Batterie, die wir mit GB1 bzw. GB 2 bezeichnen.
In den Schaltungen, in denen die positive und die negative Betriebsspannung benötigt wird, ist der Anschluß an der Brücke zwischen den beiden Batteriefächern das Bezugspotential. Dieser Anschluß wird mit Masse (⊥) bezeichnet. Auf Masse beziehen sich dann alle Signale und Spannungen (Pegel). In den Stromlaufplänen wird dieser Punkt zur Vereinfachung der Zeichnungen immer mit dem Massezeichen gekennzeichnet. Auf den Aufbauplatten müssen dann immer alle Anschlüsse, die dieses Zeichen aufweisen, mit dem Masseanschluß des Batteriefachs verbunden werden.

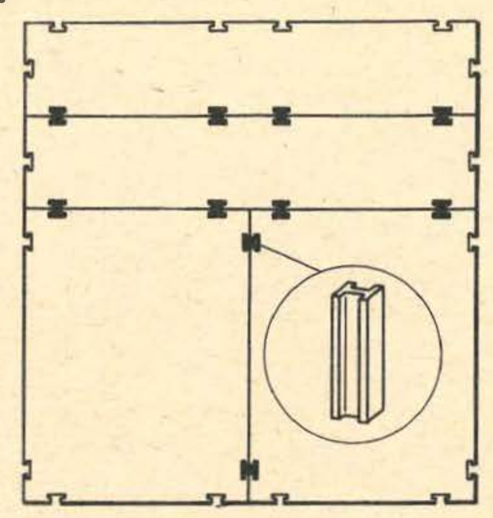


Abb. 1.04
zusammengesetzter Baukasten

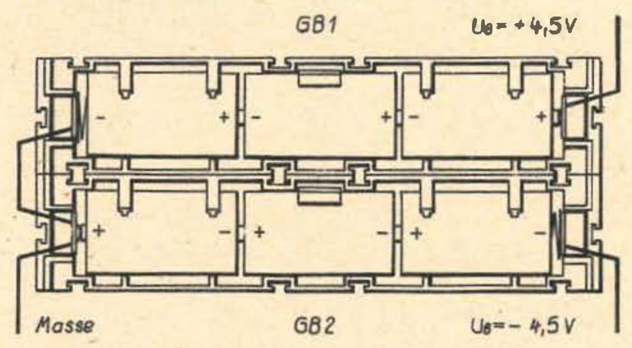


Abb. 1.05
Batteriefächer mit eingelegten Batterien
- Eine Monozelle hat eine Spannung von 1,5 Volt.
- Die Zusammenschaltung von 6 Monozellen ergibt 2 x 4,5 V also insgesamt 9 Volt.

Am günstigsten ist es, die Drähte der drei Anschlüsse des Batteriefachs mit je einer Steckfeder zu verbinden, von wo aus dann weitere Verbindungen erfolgen können. Um Fehlschaltungen (Verwechslungen von +, - und Masse) zu vermeiden, sollte das einmal gewählte Anschlußprinzip immer beibehalten werden.
Die Spannungsquelle wird nur in den ersten Versuchen eingezeichnet. Bei den folgenden Versuchen ist sie dementsprechend anzuschließen.

1.2. Der Umgang mit den Bauelementen

Der NKM-Baukasten enthält eine Vielzahl elektronischer Bauelemente, über die man Bescheid wissen muß. Dieses Anleitungsheft und die Beilagen werden nicht nur beim Aufbau und zum Verständnis der elektronischen Versuchsschaltungen eine Hilfe sein, sondern auch mit der Bezeichnung, der Kennzeichnung, den Schaltzeichen und der elektrischen Funktion der elektronischen Bauelemente vertraut machen. Alle Bauelemente

sind auf den Innenseiten des Hefteinbandes in Wort und Bild dargestellt.
Grundsätzlich ist davon auszugehen, daß jedes elektronische Bauelement auf mechanische und elektrische Überlastung empfindlich reagiert und deshalb mit der nötigen Sorgfalt behandelt werden muß. Alle Bauelemente wurden so ausgewählt, daß sie bei richtigem Schaltungsaufbau nicht elektrisch überlastet werden.
Viele Bauelemente (Widerstände, Kondensatoren, Dioden, Lichtemitterdioden) können direkt mit ihren Anschlüssen auf die Aufbauplatte gesteckt werden. Andere Bauelemente (Transistoren, Schichtdrehwiderstände, integrierte Schaltkreise, ...) sind auf Moduln montiert.
Die Moduln sind mit A1 bis A5 gekennzeichnet und werden in den folgenden Ausführungen erklärt. Sie lassen sich auf den Aufbauplatten an dafür vorgesehenen Stellen einstecken.
Die Anschlüsse solcher Bauelemente, die nicht auf Moduln montiert sind, müssen zum Stecken abgewinkelt werden.
Die Lichtemitterdioden (LED) müssen vor dem Durchführen des 1. Versuches erst noch entsprechend Abb. 1.06 vorbereitet werden, damit sie in die Kontaktfedern der Aufbauplatte gesteckt werden können.

Beachte:
Der Abstand vom Bauelement bis zur ersten Abbiegung des Anschlußdrahtes muß mindestens 5 mm betragen. Dies gilt auch für die anderen Bauelemente (für Widerstände, Dioden und Kondensatoren). Zum Abwinkeln der Anschlußdrähte der Bauelemente sollte nach Möglichkeit ein geeignetes Werkzeug verwendet werden.

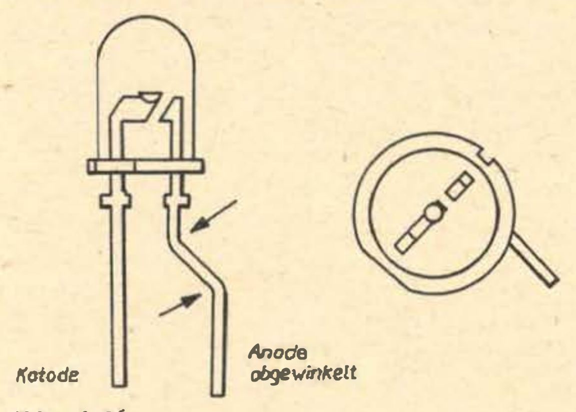


Abb. 1.06
Lichtemitterdiode VQA 23

Die Verbindung der Bauelemente auf der Aufbauplatte erfolgt durch Einstecken der Anschlüsse in die Kontaktfedern. Wo dies nicht ausreicht, werden zusätzliche Drahtbrücken gesteckt. Um eine gute Übersichtlichkeit der Schaltung zu erreichen, sind nach Möglichkeit immer die kürzesten Drähte zu verwenden. Sind die Drähte verschlissen oder reichen sie nicht mehr aus, können aus 0,5 mm dickem Kupferdraht selbst Drahtbrücken gefertigt werden.

Bei einigen Versuchen werden Taster benötigt. Ein Taster wird aus zwei Teilen zusammengesetzt, dem festen und dem federnden Kontakt. Beide Teile werden einander gegenüber in je einen dafür vorgesehenen Schlitz der Aufbauplatte gesteckt. Sie erhalten dabei Kontakt mit der zugehörigen Steckfeder (Abb. 1.07).
Werden zwei feste Kontakte verwendet, erhält man eine Berührungstaste (Sensortaste). Werden beide Kontakte mit dem Finger überbrückt, fließt ein geringer Strom, der einen Schaltvorgang auslösen kann.

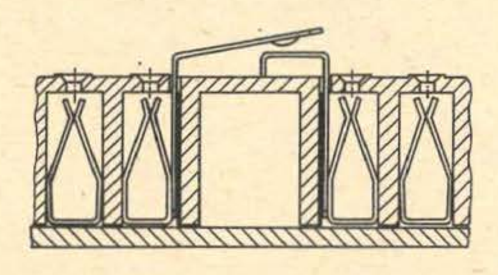


Abb. 1.07
Taster

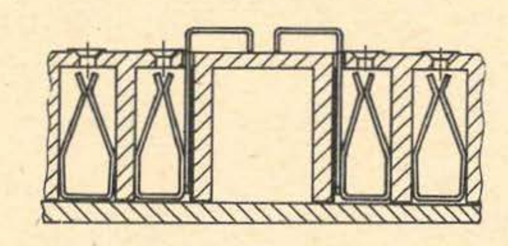


Abb. 1.08
Berührungstaste

Auf einer Aufbauplatte können Taster oder Berührungstasten an acht möglichen Stellen realisiert werden.
In einigen Versuchen werden Aluminium-, Kupfer- und Stahlelektroden benötigt. Diese befinden sich im Baukasten. Die Elektroden werden nach Abb. 1.09 für die Versuche vorbereitet. Dazu müssen drei im Baukasten befindliche lange Drähte (ca. 10 cm abisoliert) fest um die oberen Enden der Elektroden gewickelt werden.



Abb. 1.09
Elektrode mit angewickeltem Draht

Widerstände

Unser Baukasten enthält:

- Festwiderstände und
- Stellwiderstände.

Festwiderstände gibt es als Draht- und als Schichtwiderstände in verschiedenen Bauformen. Wir verwenden in unserem Baukasten Schichtwiderstände der Baureihe 23 mit der Nenngröße 207. Die 2 bedeutet den Durchmesser und die 7 die Länge des Widerstandes in mm.



Abb. 1.10
Geschliffener Schichtwiderstand ohne Schutzschicht (Draufsicht und Schnitt)

Stellwiderstände gibt es ebenfalls als Draht- und Schichtwiderstände. Sie werden je nach Bauart und Verwendungszweck z.B. als Schichtdrehwiderstand, Potentiometer oder Einstellregler bezeichnet. Modul A4 enthält zwei Schichtdrehwiderstände.

Kondensatoren

Unser Baukasten enthält

- ungepolte Kondensatoren und
- gepolte Kondensatoren.

Als ungepolte Kondensatoren enthält der Baukasten KT-Kondensatoren (Polyesterkondensatoren). Der KT-Kondensator wird hergestellt, indem zwei Aluminiumfolien, zwischen denen eine Kunststoffolie liegt, aufgewickelt werden.
"Ungepolt" bedeutet, beim Anschließen des Kondensators braucht nicht auf die Polarität der Spannung geachtet zu werden.

Als gepolte Kondensatoren enthält der Baukasten Aluminium-Elektrolytkondensatoren.
"Gepolt" bedeutet, beim Anschließen dieses Kondensators muß auf die Polarität der angelegten Spannung geachtet werden.
Zur richtigen Polung dieses Kondensators siehe zweite Umschlagseite. Elektrolytkondensatoren formieren sich, d.h., nach Anlegen der (richtig gepolten) Spannung bildet sich zwischen den Elektroden eine isolierende Aluminiumoxidschicht aus, das Dielektrikum. Bei Falschpolung wird diese Schicht zerstört.

Lichtemitterdioden, kurz LED genannt

Unser Baukasten enthält

- die grünleuchtende LED VQA 23 und
- die rotleuchtende LED VQA 13-1.

LED haben wie alle Dioden eine Durchlaßrichtung und eine Sperrichtung für den elektrischen Strom. LED werden grundsätzlich in Durchlaßrichtung betrieben. Dabei sendet der pn-Übergang des Halbleitermaterials Lichtquanten (Lichtteilchen) aus. Die Farbe des Lichtes ist abhängig vom verwendeten Material.

Achtung:
Eine LED niemals ohne Vorwiderstand betreiben. Sie wird sonst zerstört. Der Vorwiderstand muß bei einer Spannung von 9 Volt mindestens 240 Ohm betragen.

Die Moduln des Baukastens

Modul A1 enthält eine Lautsprecherbuchse (passend für einen üblichen Lautsprecherstecker). Dadurch ist es leicht möglich, einen vorhandenen Lautsprecher oder Kopfhörer an die Versuchsschaltung anzuschließen. Die betreffenden Schaltungen sind elektrisch so bemessen, daß Lautsprecher oder Kopfhörer mit einem Nennscheinwiderstand von minimal 4 Ohm angeschlossen werden können.
Wird ein Gerät mit einem kleinerem Nennscheinwiderstand angeschlossen, besteht die Gefahr, daß Bauelemente der Schaltung zerstört werden (Widerstände und Transistoren werden heiß).
Auf den Moduln A2 und A3 befinden sich Miniplasttransistoren. Diese Moduln werden immer in die Mitte der Aufbauplatte gesteckt.
Sie sind so konstruiert, daß sie nicht um 180° verdreht eingesteckt werden können. Damit werden diese Module gegen unbeabsichtigtes Verpolen geschützt.
Modul A4 enthält Schichtdrehwiderstände (veränderbare Schichtwiderstände). Mit den Schichtdrehwiderständen können die Versuchsschaltungen abgeglichen werden.
Auf dem Modul A5 befindet sich ein hochwertiges elektronisches Bauelement, der Vierfach-Operationsverstärker B 084 D. Aussagen zu seiner Funktion erfolgen im entsprechenden Kapitel dieses Anleitungsheftes.

Bei diesem Bauelement ist besonders darauf zu achten, daß die Betriebsspannung immer richtig angeschlossen wird. An Anschluß 4, mit + gekennzeichnet, immer die positive Betriebsspannung von +4,5 Volt anschließen; an Anschluß 11, mit - gekennzeichnet, immer die negative Betriebsspannung von -4,5 Volt anschließen. Ein Vertauschen der Polarität der Betriebsspannung führt zur sofortigen Zerstörung des Bauelementes.

Modul A5 kann ebenfalls wie die Moduln A2 und A3 nur in die Mitte der Aufbauplatte eingesteckt werden.

In den Schaltungen werden die Bauelemente durch Kurzzeichen gekennzeichnet.
Es sind

- R ein Widerstand oder ein Schichtdrehwiderstand,
- C ein Kondensator,
- VD eine Diode oder eine Lichtemitterdiode (LED),
- VT ein Transistor,

N ein Operationsverstärker,
S ein Taster oder eine Berührungstaste,
XB eine Buchse,
XS ein Stecker,
BL ein Lautsprecher,
GB eine Batterie.

Werden in einer Schaltung mehrere Bauelemente gleicher Art verwendet, dann muß man sie voneinander unterscheiden können. Zu diesem Zweck erhalten die Kurzzeichen je eine zusätzliche Ziffer.

Beispiele:

R1 ist Widerstand oder Schichtdrehwiderstand Nr. 1
R2 ist Widerstand oder Schichtdrehwiderstand Nr. 2
C4 ist Kondensator Nr. 4
GB2 ist Batterie Nr. 2 usw.

Bevor nun der erste Versuch an die Reihe kommt, noch ein paar wichtige Hinweise:

- Beachte in den Texten alle Hinweise zu den Versuchen:
  ERST LESEN - DANN EXPERIMENTIEREN!
- Kontrolliere vor Anschluß der Batteriespannung noch einmal die Schaltung nach Stromlaufplan bzw. Aufbauplan:
  - Sind alle Verbindungen richtig gesteckt?
  - Wurden die richtigen Bauelemente verwendet?
  - Sind alle Bauelemente richtig angeschlossen?
    (Polung bei LED, Dioden, gepolten Kondensatoren, Transistoren, Modul A5, Vorwiderstand bei LED, ...)
- Erst jetzt die Betriebsspannung anschließen. Bei Schaltungen mit den Operationsverstärkern (Modul A5) zuerst Masse, dann -4,5 V ($-U_B$) und zuletzt +4,5 V ($+U_B$) anschließen.

2. Unsere Bauelemente in Aktion

Im zweiten Kapitel des Anleitungsheftes wollen wir die elektrische Funktion von elektronischen Bauelementen mit Hilfe von einigen Schaltungsbeispielen und den dazugehörigen Erläuterungen erklären. Das Verstehen der elektrischen Funktion eines Bauelementes ist die Grundlage dafür, daß man schon aus dem Schaltplan die Funktion einer Schaltung "herauslesen" kann. Wer noch mehr über die einzelnen Bauelemente wissen will, kann sich in der entsprechenden Literatur informieren. Im Literaturverzeichnis sind einige ausgewählte Bücher genannt.
Nun aber zum ersten Versuch.

2.1. Eine Blinkanlage mit Operationsverstärker

Zwei LED's, eine rote und eine grüne, sollen abwechselnd blinken, ohne daß ein mechanischer Kontakt bewegt wird. Das Blinken geschieht etwa zweimal je Sekunde und kann stunden-, tage-und sogar wochenlang erfolgen, bis die Batterien leer sind. Das Herzstück der Schaltung ist ein Operationsverstärker, welcher die Aufgabe des Schalters übernimmt. Außer ihm sind nur wenige weitere Bauelemente notwendig:

- Schichtwiderstand R1		120 Ω
- Schichtwiderstand R2		1,5 KΩ
- Schichtwiderstand R3		1 MΩ
- Kondensator C		100 nF
- LED	VD 1	VQA 13-1
- LED	VD 2	VQA 23

Außerdem sind einige Drahtbrücken erforderlich.

Zuerst werden die benötigten Bauelemente bereitgelegt. Auf die richtigen Kennwerte ist zu achten. Die Verwendung von Bauelementen mit falschen Kennwerten beeinträchtigt die Funktion der Schaltungen und kann die Zerstörung von Bauelementen zur Folge haben. Beim Auswählen der richtigen Bauelemente sind die Bauteilliste (Beilegeblatt) und die Angaben der 2. und 3. Umschlagseite des Anleitungsbuches zu nutzen.

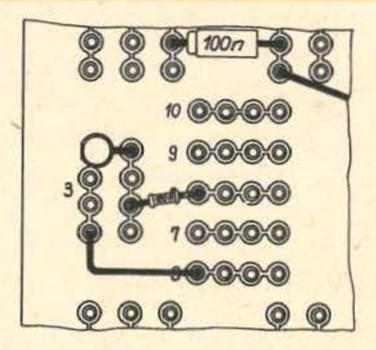


Abb. 2.01
Aufbaubeispiel

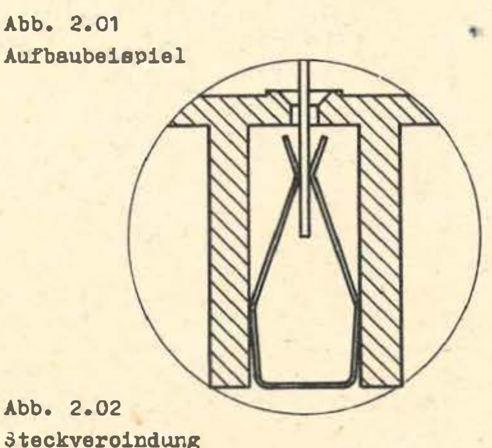


Abb. 2.02
Steckverbindung

Der Aufbau der Schaltung erfolgt nach Schaltplan. Abb. 2.01 und 2.02 zeigen ein Beispiel, wie man die Bauelemente auf der Aufbauplatte in die entsprechenden Löcher einsteckt.

Das Anleitungsbuch enthält für jede Schaltung zwei Schaltpläne,

- den Stromlaufplan, immer mit "S" bezeichnet, und
- den Aufbauplan, immer mit "A" bezeichnet.

Beide Schaltpläne sind ihrer elektronischen Funktion nach gleichwertig. Sie unterscheiden sich nur durch die Art der Darstellung.

Im Stromlaufplan werden Zusammenschaltung und Zusammenwirken der elektronischen Bauelemente deutlich. Die Bauelemente werden durch ihre Schaltzeichen dargestellt. Bei einiger Übung kann man aus dem Stromlaufplan leicht die Funktion einer Schaltung erkennen. Ein geübter Elektroniker ist auch in der Lage, eine Schaltung nach dem Stromlaufplan aufzubauen. Wir besitzen diese Fähigkeit jetzt noch nicht und benötigen daher eine Hilfe. Der Aufbauplan ist diese Hilfe, mit der wir in der Elektronik "laufen" lernen. Später werden wir dieses Hilfsmittel wahrscheinlich nur noch selten benötigen. Da die Versuche aber immer schwieriger werden, enthält das Anleitungsbuch zu jedem Versuch auch einen Aufbauplan. Man sollte - außer bei den ersten Versuchen - probieren, ob man eine Schaltung schon nach dem Stromlaufplan aufbauen kann. Nur wenn das nicht gelingt, sollte man zum Aufbauplan greifen.

Für unsere Blinkanlage sind Abb. 2.03-S der Stromlaufplan und Abb. 2.03-A der Aufbauplan. Bei unserem ersten Versuch orientieren wir uns auf jeden Fall am Aufbauplan.

Baue die Schaltung nach Abb. 2.03-A auf und prüfe die Richtigkeit aller gesteckten Verbindungen auch anhand des Stromlaufplanes Abb. 2.03-S. Erst wenn alles richtig geschaltet ist, wird die Spannungsquelle angeschlossen. Bei richtigem Schaltungsaufbau muß die Blinkanlage sofort funktionieren.

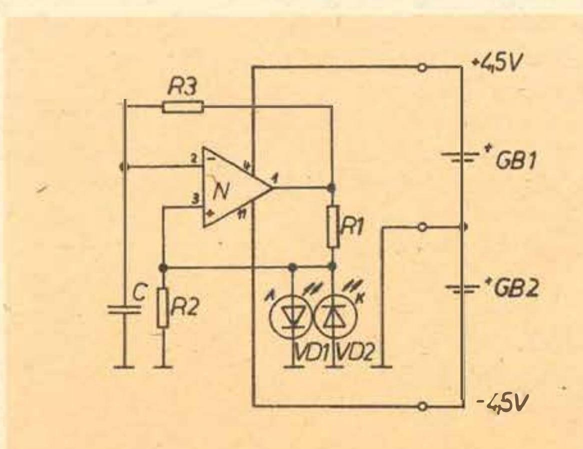


Abb. 2.03-S Warnblinkanlage

Schichtwiderstand	R1	120 Ω
Schichtwiderstand	R2	1,5 kΩ
Schichtwiderstand	R3	1 MΩ
Kondensator	C	100 nF
Lichtemitterdiode	VD1	VQA 13-1
Lichtemitterdiode	VD2	VQA 23
Operationsverstärker	N	B 084 D (A5)

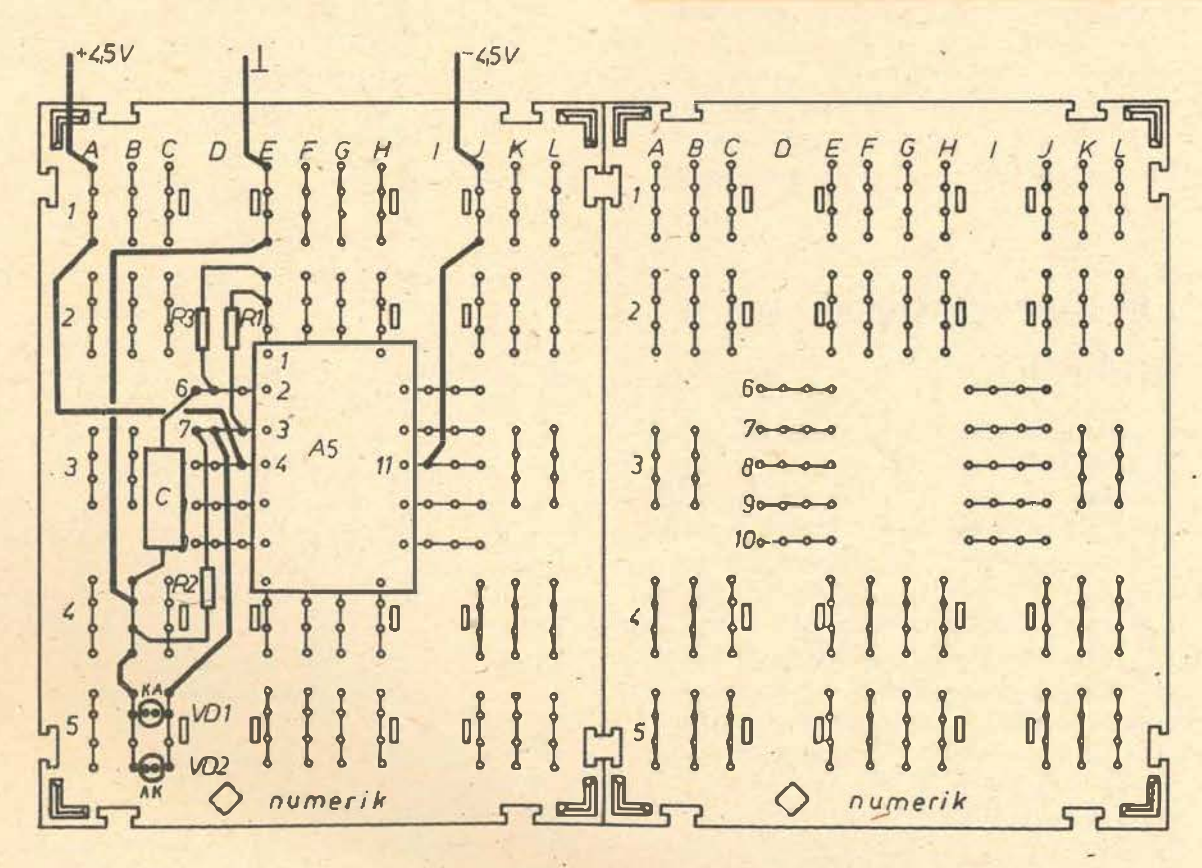


Abb. 2.03-A

Damit ist eine große Leistung vollbracht. Aber wie funktioniert das eigentlich? Welche Funktionen haben denn die einzelnen Bauelemente und wie wirken sie im Zusammenhang? Wie kann man denn begreifen, was "im Innern" der Schaltung vor sich geht?
Man kommt in der Elektronik keinen Schritt voran, wenn man das alles nicht erkennt und nicht versteht. Aber gerade dabei soll unser Baukasten helfen. Er soll helfen, sich schrittweise in komplizierte Sachverhalte der Elektronik und der Mikroelektronik einzuarbeiten. Wir wollen im folgenden mit dem Einfachsten beginnen und dann von Versuch zu Versuch immer schwierigere Aufgaben lösen. Dabei wollen wir erreichen, daß das "Innere" der Schaltungen verstanden wird. Nach und nach werden wir in das Reich der Mikroelektronik eindringen.

2.2. Wichtige Grundlagen

2.2.1. Größen, Einheiten und Vorsätze

Eine physikalische Größe ist das Produkt aus Zahlenwert und Einheit. Jede Größe hat auch ein Formelzeichen. Das wollen wir anhand einfacher bekannter Beispiele zeigen: einer Länge von 3 Metern, eines Volumens von 5 Kubikmillimetern und einer Geschwindigkeit von 30 Kilometern pro Stunde.

Größe	Formelzeichen	Zahlenwert	Einheit	Kurzzeichen der Einheit
Länge	l	3	Meter	m
Volumen	V	5	Kubikmillimeter	mm^3
Geschwindigkeit	v	30	Kilometer pro Stunde	$\frac{km}{h}$

Beim Rechnen mit physikalischen Größen wird anstelle der Einheit immer das Kurzzeichen der Einheit verwendet:

$l = 3\ m \qquad V = 5\ mm^3 \qquad v = 30\ \frac{km}{h}$

So wie bei diesen bekannten Beispielen ist es auch in der Elektronik. Zu folgenden physikalischen Größen muß man sich Formelzeichen, Einheit und Kurzzeichen der Einheit merken:

Größe	Formelzeichen	Einheit	Kurzzeichen der Einheit
elektrische Stromstärke	I	Ampere	A
elektrische Spannung	U	Volt	V
elektrischer Widerstand	R	Ohm	Ω
Kapazität	C	Farad	F
Zeitkonstante	τ	Sekunde	s
Frequenz	f	Hertz	Hz oder $\frac{1}{s}$

Manchmal sind die Einheiten zu groß oder auch zu klein. Dann versieht man sie mit Vorsätzen. Dadurch werden große unübersichtliche Zahlenkolonnen vermieden.

Beispiele: statt 3 600 000 Ω schreibt man 3,6 MΩ
statt 0,000 000 004 F schreibt man 4 nF usw.

Die nachstehenden Vorsätze muß man anwenden können (Beispiele üben).

Vorsatz	Kurz-zeichen	Bedeutung des Vorsatzes als Faktor	Beispiele		
Mega	M	1 000 000 oder 10^6	4 700 000Ω	=	4,7 MΩ
Kilo	k	1 000 oder 10^3	5 500Ω	=	5,5 KΩ
Milli	m	0,001 oder 10^{-3}	0,003 A	=	3 mA
Mikro	u	0,000 001 oder 10^{-6}	0,000 002 F	=	2 µF
Nano	n	0,000 000 001 oder 10^{-9}	0,000 000 025 F	=	25 nF
Piko	p	0,000 000 000 001 oder 10^{-12}	0,000 000 000 004 F	=	4 pF

2.2.2. Der elektrische Stromkreis

Ein elektrischer Stromkreis besteht aus einer Energiequelle, einem Verbraucher und Leitungen, welche die elektrische Energie transportieren. Baue den einfachen Stromkreis nach Abb. 2.04 auf.

Die Energiequelle unseres Baukastens besteht aus 6 Monozellen R 20, die zu einer Batterie zusammengeschaltet werden. In den Monozellen ist Energie in chemischer Form gespeichert, die in elektrische Energie umgewandelt wird. Der Verbraucher, die LED mit dem Widerstand, wandelt elektrische Energie in Licht und Wärme um. Im elektrischen Stromkreis spielen drei physikalische Größen eine wichtige Rolle: der Strom, die Spannung und der Widerstand. Sie haben grundlegende Bedeutung und stehen in enger Beziehung zueinander.

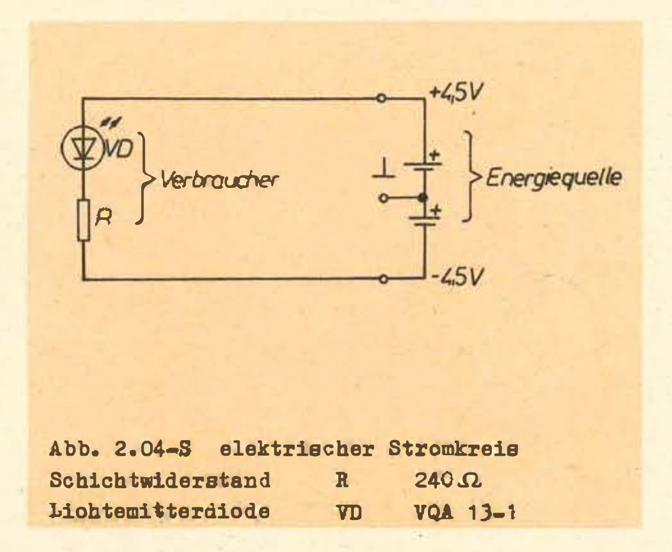


Abb. 2.04-S elektrischer Stromkreis
Schichtwiderstand R 240 Ω
Lichtemitterdiode VD VQA 13-1

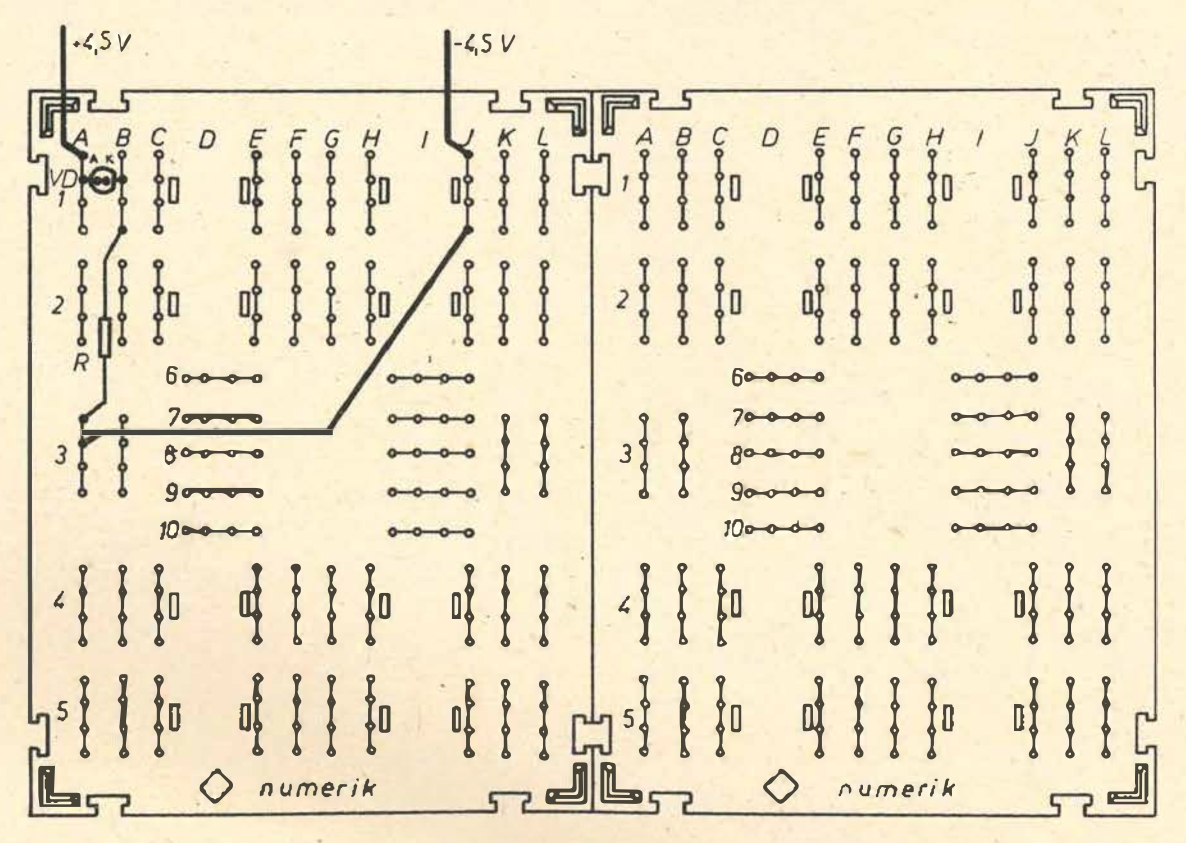


Abb. 2.04-A

Ein elektrischer Strom fließt, ähnlich wie Wasser in einem Flußbett oder in einem Rohr. Elektrischer Strom ist nur dann vorhanden, wenn sich Elektrizität in Bewegung befindet. In unserem Falle fließen Elektronen durch den elektrischen Leiter.

Merke:
Das Formelzeichen des elektrischen Stromes ist I.
Einheiten des elektrischen Stromes sind z.B.
A (Ampere)
mA (Milliampere)
µA (Mikroampere).

Der elektrische Strom kann aber nur dann entstehen, wenn die Elektronen gezwungen werden, sich zu bewegen. Diesen Antrieb verursacht die elektrische Spannung. Die elektrische Spannung ist die Ursache jedes elektrischen Stromes. Eine elektrische Spannung kann nicht fließen, sondern sie liegt an, und zwar immer zwischen zwei Punkten. Zum Beispiel kann man eine Spannung zwischen den Polen der Batterie feststellen. Elektrische Spannung ist die Voraussetzung dafür, daß elektrischer Strom zustande kommen kann (nicht muß). Unterbricht man den Stromkreis, dann kann kein Strom mehr fließen und die LED geht aus. Die Spannung ist aber an der Batterie noch vorhanden. Verschwindet aber die Spannung (Leere Batterie!), dann können wir soviel Drahtverbindungen schaffen wie wir wollen. Ein Strom käme niemals zustande.

Merke:
Das Formelzeichen der elektrischen Spannung ist U.
Einheiten der elektrischen Spannung sind z.B.
V (Volt)
mV (Millivolt).

Bei unserem Versuch in Abb. 2.04 fließt der Strom solange, bis die Batterie keine Energie mehr zur Verfügung stellen kann und demzufolge keine Spannung mehr anliegt. Das kann lange dauern, wenn der Verbraucher dem Strom einen großen Widerstand entgegensetzt. Überbrückt man die Pole der Batterie mit einem Draht, dann setzt dieser Draht dem Strom nur einen geringen Widerstand entgegen. Der Strom könnte nahezu ungehindert fließen (Kurzschluß! Nicht durchführen). Die Energie der Batterie wäre dann bald verbraucht. Vergrößert man den Widerstand des Stromkreises, indem man noch ein Bauelement (Widerstand) einfügt (Abb. 2.05), dann leuchtet die LED merklich dunkler, dem Strom wird ein größerer Widerstand entgegengesetzt. Als Folge fließt ein geringerer Strom. Der Widerstand hat Einfluß auf die Stärke des Stromes, der bei einer bestimmten Spannung in einem Stromkreis fließt.

Merke:
Das Formelzeichen des elektrischen Widerstandes ist R.
Einheiten des elektrischen Widerstandes sind z.B.
Ω (Ohm)
kΩ (Kiloohm)
MΩ (Megaohm).

Die Beziehungen der drei Größen I, U und R finden ihren Ausdruck im wichtigsten Gesetz der Elektrizitätslehre, dem Ohmschen Gesetz:

$$I = \frac{U}{R}$$

Aus diesem Gesetz kann man schlußfolgern:

- Der Strom ändert sich proportional zur Spannung. Das heißt bei konstantem Widerstand hat eine größere Spannung einen größeren Strom zur Folge, eine kleinere Spannung einen kleineren Strom.
- Der Strom ändert sich umgekehrt proportional zum Widerstand, das heißt bei konstanter Spannung hat ein größerer Widerstand einen kleineren Strom zur Folge, ein kleinerer Widerstand einen größeren Strom.

Zum Schluß noch einige Anwendungsbeispiele. Sie sollen zeigen, was man mit dem Ohmschen Gesetz machen kann. Übrigens: Erst wenn man eine Aufgabe lösen soll, begreift man, ob man einen Sachverhalt verstanden hat oder nicht.

1. Ein Widerstand von 3 kΩ liegt an einer Spannung von 9 V. Wie groß ist der Strom, der durch den Widerstand fließt?

gegeben: $R = 3\ k\Omega = 3\ 000\Omega$ gesucht: I
$U = 9\ V$

$$I = \frac{U}{R}$$

$$I = \frac{9\ V}{3\ 000\Omega}$$

$$I = 0{,}003\ A$$

$$\underline{\underline{I = 3\ mA}}$$

Durch den Widerstand fließt ein Strom von drei Milliampere.

2. Durch einen Widerstand von 5 kΩ fließt ein Strom von 2,4 mA. Welche Spannung liegt am Widerstand an?

gegeben: $R = 5\ k\Omega = 5\ 000\Omega$ gesucht: U
$I = 2{,}4\ mA = 0{,}0024\ A$

$$I = \frac{U}{R}$$

$$\frac{U}{R} = I \quad | \cdot R$$

$$U = I \cdot R$$

$$U = 0{,}0024\ A \cdot 5\ 000\Omega$$

$$\underline{\underline{U = 12\ V}}$$

Am Widerstand liegen 12 Volt an.

3. An einem Widerstand liegt eine Spannung von 12 V. Durch diesen Widerstand fließt ein Strom von 4 mA. Wie groß ist der Widerstand?

gegeben: $U = 12\ V$ gesucht: R

$I = 4\ mA = 0{,}004\ A$

$I = \frac{U}{R} \quad | \cdot R$ $\qquad R = \frac{12\ V}{0{,}004\ A}$

$I \cdot R = U \quad | : I$ $\qquad R = 3\ 000\ \Omega$

$R = \frac{U}{I}$ $\qquad \underline{\underline{R = 3\ k\Omega}}$

Der Widerstand beträgt 3 kΩ .

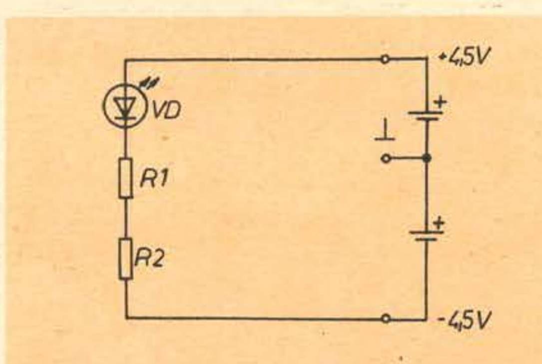


Abb. 2.05-S Widerstandserhöhung im Stromkreis

Schichtwiderstand	R1	240 Ω
Schichtwiderstand	R2	510 Ω
Lichtemitterdiode	VD	VQA 13-1

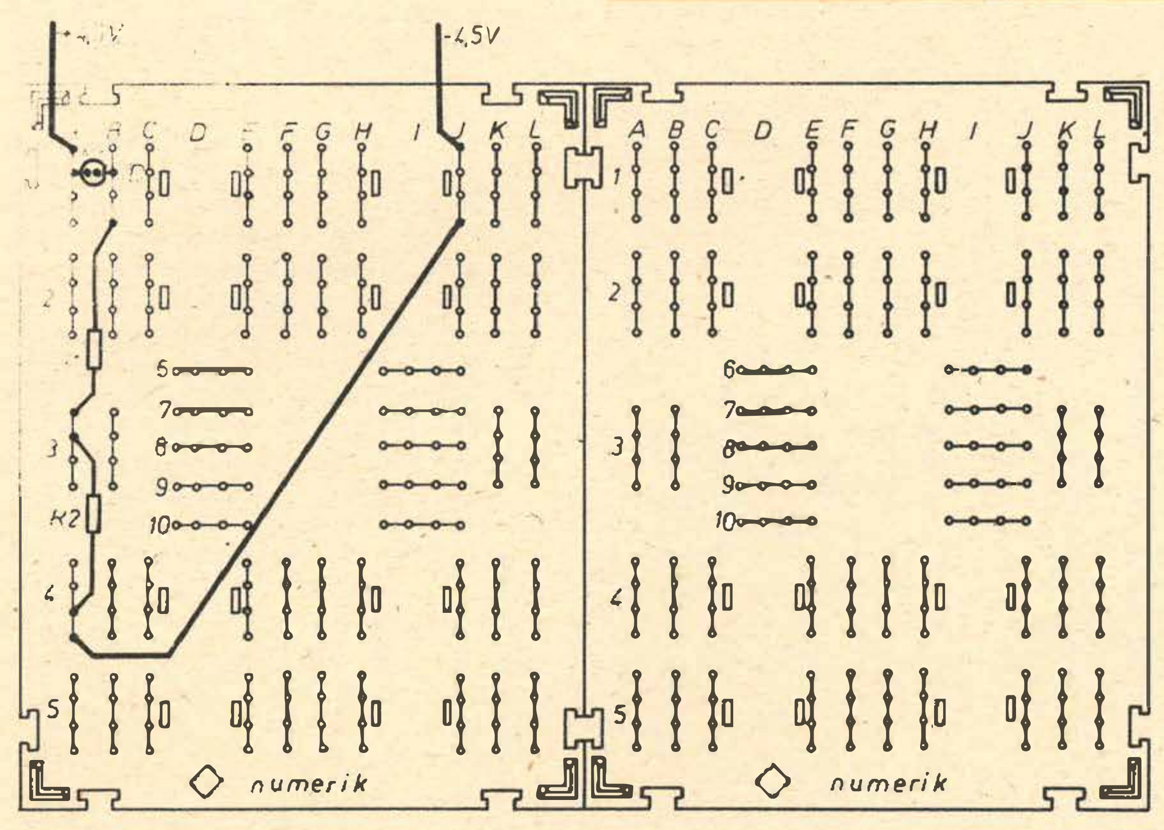


Abb. 2.05-A

2.2.3. Reihenschaltung und Parallelschaltung

Wir haben beim Versuch 2.05 festgestellt, daß die LED dunkler leuchtete als beim Versuch 2.04. Die Ursache war ein zugeschalteter Widerstand. Ebenso könnte man die LED auch heller leuchten lassen, wenn man den zweiten Widerstand anders anschließt (nicht ausprobieren, Gefahr für die LED).

Die Art, wie die Widerstände miteinander verschaltet werden, hat einen Einfluß auf den entstehenden Gesamtwiderstand.

Wir unterscheiden zwei Möglichkeiten des Zusammenschaltens von Widerständen

- die Reihenschaltung und
- die Parallelschaltung.

Die Gesetzmäßigkeiten beider Schaltungen muß man kennen, will man das Funktionsprinzip komplizierter Schaltungen der Elektronik verstehen.

Reihenschaltung liegt dann vor, wenn das Ende des einen Widerstandes mit dem Anfang des folgenden verbunden wird usw.

Abb. 2.06 zeigt eine Reihenschaltung von drei Widerständen.

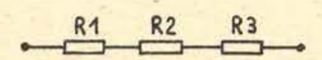


Abb. 2.06 Reihenschaltung

Baue die Schaltung nach Abb. 2.07 auf und führe den Versuch so durch, daß der Reihe nach entweder Variante I, II oder III der Widerstände der LED vorgeschaltet werden.

Variante I:	R_1 =	1 kΩ
Variante II:	R_2 =	510 Ω
	R_3 =	510 Ω
Variante III:	R_4 =	240 Ω
	R_5 =	680 Ω
	R_6 =	82 Ω

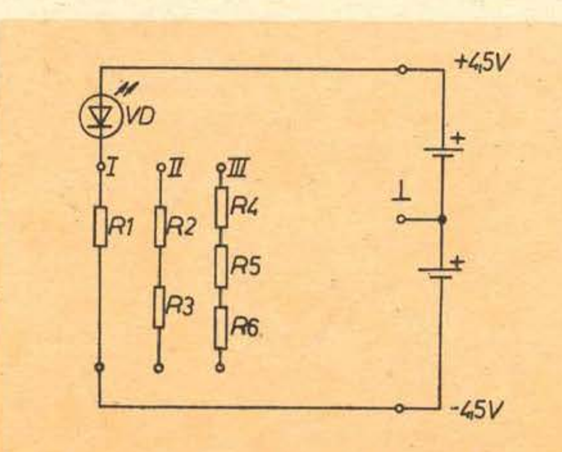


Abb. 2.07-S Versuch zur Reihenschaltung

Schichtwiderstand	R1	1 kΩ
Schichtwiderstand	R2	510 Ω
Schichtwiderstand	R3	510 Ω
Schichtwiderstand	R4	240 Ω
Schichtwiderstand	R5	680 Ω
Schichtwiderstand	R6	82 Ω
Lichtemitterdiode	VD	VQA 13-1

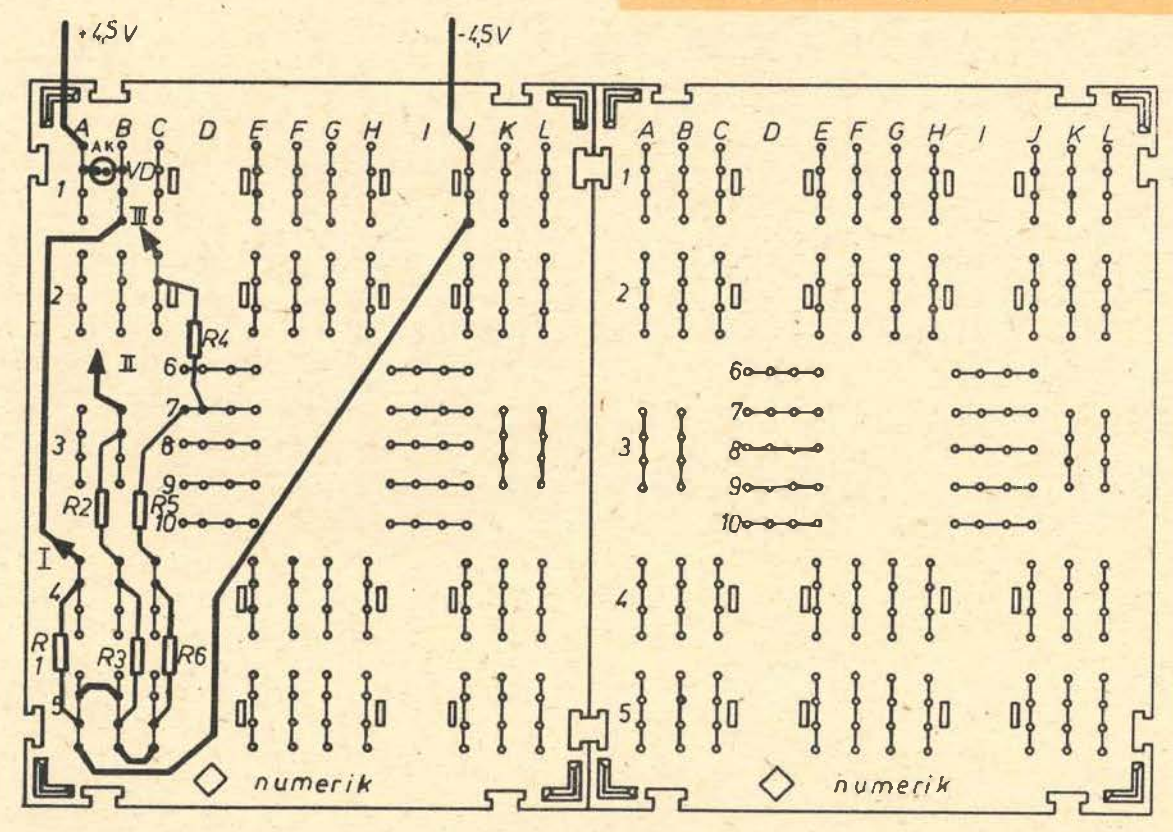


Abb. 2.07-A

Wir stellen fest, daß die LED bei jeder vorgeschalteten Variante die (annähernd) gleiche Helligkeit zeigt. Demzufolge muß jede den (annähernd) gleichen Widerstandswert haben. Das können wir auch nachprüfen. Wenn wir die Widerstandswerte der zweiten und die der dritten Variante addieren und die Werte aller Varianten miteinander vergleichen, dann ergeben sich annähernd gleiche Werte:

Variante I:	1 kΩ
Variante II:	1,02 kΩ
Variante III:	1,002 kΩ

also rund 1 kΩ für jede Variante. Aus dem Versuch können wir schlußfolgern, daß sich bei der Reihenschaltung der gemeinsame Widerstand R_g durch Addition der Einzelwiderstände ergibt.

Merke:
Bei Reihenschaltung von Widerständen gilt:

$$Rg = R_1 + R_2 + R_3$$

Der Gesamtwiderstand ist stets größer als der größte Einzelwiderstand.

Beachte:
Bevor addiert wird, müssen alle Teilwiderstände die gleiche Einheit erhalten.

Beispiel:
Drei Widerstände $R_1 = 3{,}0\ k\Omega$, $R_2 = 220\Omega$ und $R_3 = 0{,}68\ k\Omega$ sind in Reihe geschaltet. Wie groß ist der Gesamtwiderstand?

Gegeben: $R_1 = 3{,}0\ k\Omega$ gesucht: R_g
$R_2 = 220\ \Omega = 0{,}22\ k\Omega$
$R_3 = 0{,}68\ k\Omega$

$$R_g = R_1 + R_2 + R_3$$
$$R_g = 3{,}0\ k\Omega + 0{,}22\ k\Omega + 0{,}68\ k\Omega$$
$$R_g = 3{,}9\ k\Omega$$

Sinngemäß gilt für alle Berechnungen: Verschiedene Werte einer physikalischen Größe immer in einer gemeinsamen Einheit verwenden.

Parallelschaltung liegt dann vor, wenn jeweils alle Anfänge und alle Enden der Widerstände miteinander verbunden werden.
Abb. 2.08 zeigt eine Parallelschaltung von drei Widerständen.
Baue die Schaltung nach Abb. 2.09 auf und führe den Versuch so durch, daß entweder der Widerstand R_3 oder die beiden parallel geschalteten Widerstände R_1 und R_2 der LED vorgeschaltet werden.
Wir stellen fest, daß die LED im ersten und im zweiten Fall auch hier wieder die gleiche Helligkeit zeigt. Demzufolge muß der Widerstand R_3 annähernd so groß sein wie der Gesamtwiderstand von R_1 und R_2.

Wenn wir die Summe der reziproken Widerstandswerte von R_1 und R_2 bilden, dann erhalten wir den reziproken Wert des Gesamtwiderstandes:

$$\frac{1}{R_g} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

$$\frac{1}{R_g} = \frac{1}{510\ \Omega} + \frac{1}{510\ \Omega}$$

$$\frac{1}{R_g} = \frac{2}{510\Omega}$$

Da nicht $\frac{1}{R_g}$ sondern R_g gesucht ist, dreht man das Ganze um:

$$\frac{R_g}{1} = \frac{510\Omega}{2}$$

Division durch 1 ändert nichts, also kann man die 1 weglassen:

$$R_g = \frac{510\Omega}{2}$$

$$R_g = 255\Omega$$

Die Widerstände R_3 (240Ω) und R_g (255Ω) sind annähernd gleich groß.

Merke:
Bei Parallelschaltung von Widerständen gilt:

$$\frac{1}{R_g} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

Der Gesamtwiderstand ist stets kleiner als der kleinste Einzelwiderstand.
Bei nur zwei parallelgeschalteten Widerständen kann man die folgende einfachere Formel anwenden:

$$R_g = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

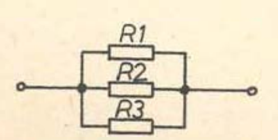


Abb. 2.08
Parallelschaltung

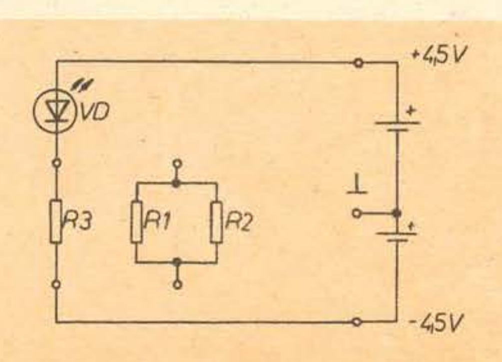


Abb. 2.09-S Versuch zur Parallelschaltung

Schichtwiderstand	R1	510Ω
Schichtwiderstand	R2	510Ω
Schichtwiderstand	R3	240Ω
Lichtemitterdiode	VD	VQA 13-1

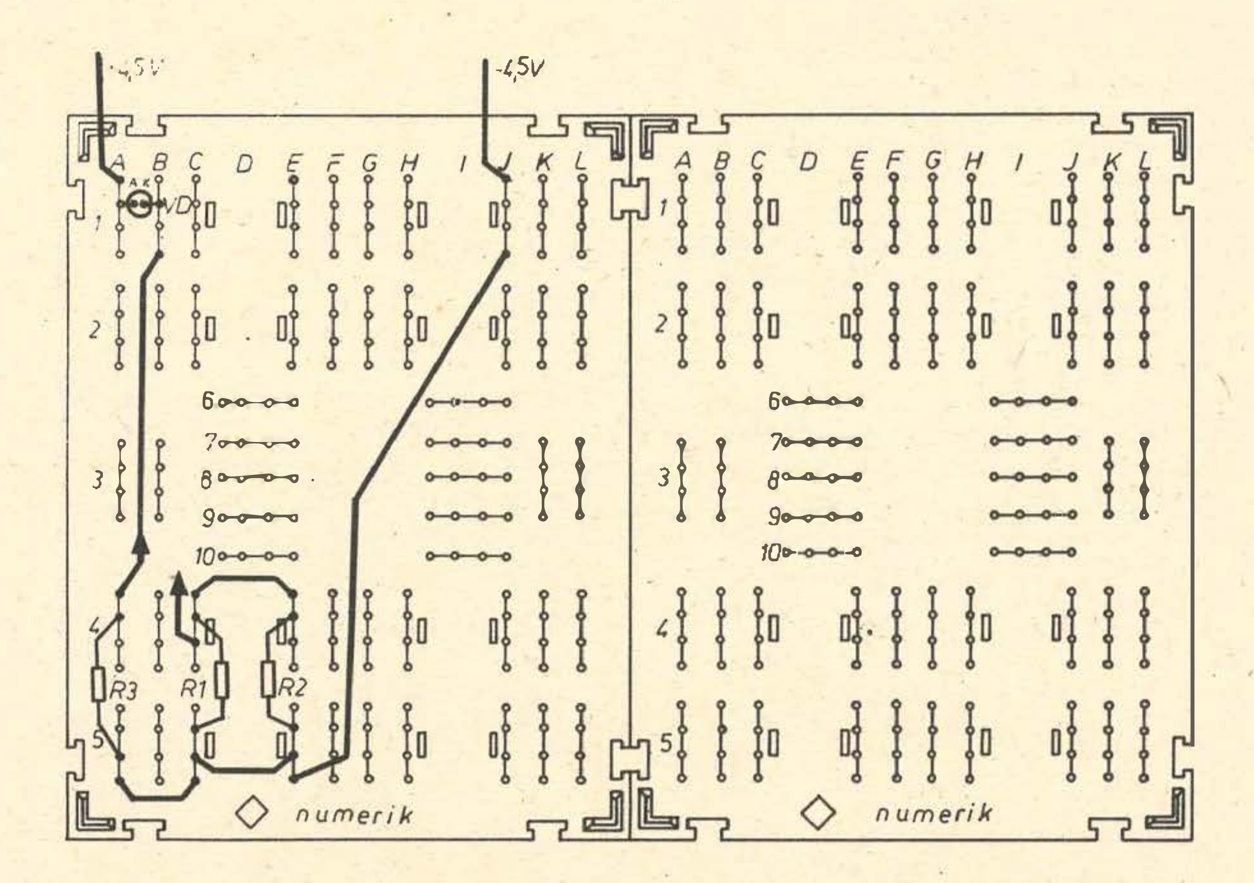


Abb. 2.09-A

Zwei Aufgaben, die zeigen sollen, wie man mit diesen Formeln rechnet:

1. Zwei Widerstände 22 kΩ und 55 kΩ werden parallel geschaltet. Wie groß ist der Gesamtwiderstand?

gegeben: $R_1 = 22\ k\Omega$ gesucht: R_g
$R_2 = 55\ k\Omega$.

$$R_g = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

$$R_g = \frac{22\ k\Omega \cdot 55\ k\Omega}{22\ k\Omega + 55\ k\Omega}$$

$$R_g = \frac{1210\ k\Omega^2}{77\ k\Omega}$$

$$R_g = 15{,}7\ k\Omega$$

Der Gesamtwiderstand beträgt 15,7 kΩ .

2. Drei Widerstände 22 kΩ , 55 kΩ und 80 kΩ wurden parallel geschaltet. Wie groß ist der Gesamtwiderstand?

gegeben: $R_1 = 22\ k\Omega$ gesucht: R_g
$R_2 = 55\ k\Omega$
$R_3 = 80\ k\Omega$.

$$\frac{1}{R_g} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

$$\frac{1}{R_g} = \frac{1}{22\ k\Omega} + \frac{1}{55\ k\Omega} + \frac{1}{80\ k\Omega}$$

Hauptnenner suchen: Erweiterungsfaktoren

22	2 . 11	$2^3 \cdot 5 = 40$
55	5 . 11	$2^4 = 16$
80	$2^4 \cdot 5$	11

HN: $2^4 \cdot 5 \cdot 11 = 880$

Erweitern:

$$\frac{1}{R_g} = \frac{40}{880\ k\Omega} + \frac{16}{880\ k\Omega} + \frac{11}{880\ k\Omega}$$

Addieren:

$$\frac{1}{R_g} = \frac{67}{880\ k\Omega}$$

Da R_g gesucht ist, wird die Gleichung umgekehrt:

$$R_g = \frac{880\ k\Omega}{67}$$

$$R_g = 13{,}134\ k\Omega$$

Der Gesamtwiderstand beträgt 13,134 kΩ .

2.2.4. Die Spannung wird geteilt

Man kann eine Spannung in Teilspannungen zerlegen. Dazu verwendet man eine Schaltung mit Widerständen, die Spannungsteiler genannt wird. Spannungsteiler sind in fast allen Schaltungen der Elektronik anzutreffen. Das ist z. B. dann der Fall, wenn zwei Baugruppen zusammengeschal-

tet werden müssen, wobei die Ausgangsspannung der ersten Baugruppe größer ist als die Eingangsspannung der zweiten Baugruppe betragen darf. In diesem Fall wird ein Spannungsteiler zwischengeschaltet. In unseren Versuchsschaltungen werden vielfach Spannungsteiler eingesetzt. Abb. 2.10 zeigt das Prinzip eines Spannungsteilers und macht die Beziehung zwischen Widerstand und Spannung deutlich. So wie für den Gesamtwiderstand $R_g = R_1 + R_2 + R_3$ gilt, so gilt auch für die Gesamtspannung

$U_g = U_1 + U_2 + U_3$.

Dabei gilt auch:

Je größer der Teilwiderstand ist, um so größer ist die an ihm anliegende Teilspannung. Je kleiner er ist, desto kleiner ist die an ihm anliegende Teilspannung. Die Summe der Teilspannung ergibt immer die Gesamtspannung.

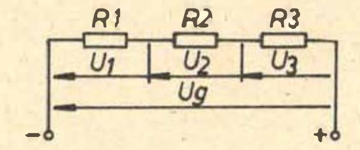


Abb. 2.10
Prinzip eines Spannungsteilers

Merke:
Beim Spannungsteiler stehen Spannung und Widerstand im direkten proportionalen Verhältnis zueinander.

In unserem Falle (Abb. 2.10) gelten

$U_1 : U_2 = R_1 : R_2$
$U_1 : U_3 = R_1 : R_3$
$U_2 : U_3 = R_2 : R_3$

In diese Betrachtungen können auch Gesamtspannung und Gesamtwiderstand einbezogen werden:

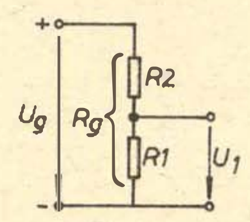
$U_g : U_1 = R_g : R_1$

usw.

Die Summe der Teilspannungen ergeben immer die Gesamtspannung:

$U_g = U_1 + U_2 + U_3$

Eine Spannung kann auch mehr als dreimal geteilt werden. Dementsprechend sind mehrere Teilwiderstände notwendig.
In den meisten Fällen ist nur eine Teilspannung erforderlich. Dafür gibt es zwei Ausführungen von Spannungsteilern, den festeingestellten und den regelbaren.



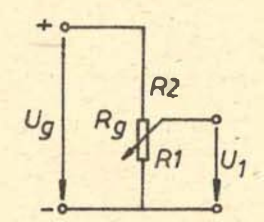


Abb. 2.11
fester und regelbarer Spannungsteiler

Den regelbaren Spannungsteiler bezeichnet man als Potentiometer.

Beispiel für einen Anwendungsfall

Eine Spannung von 9 Volt soll so geteilt werden, daß 3 Volt zur Verfügung stehen. Der Gesamtwiderstand des Spannungsteilers muß 330 kΩ betragen. Wie groß muß der Teilwiderstand sein, an dem die Spannung 3 Volt abgegriffen wird?
Wie groß muß der zweite Teilwiderstand des Spannungsteilers sein?

gegeben: $U_g = 9$ V, $U_1 = 3$ V, $R_g = 330$ kΩ

gesucht: R_1 (Teilwiderstand, an welchem U_1 anliegt)
R_2 (Restwiderstand des Spannungsteilers)

Vergleiche hierzu Abb. 2.11

$U_g : U_1 = R_g : R_1$

$U_g \cdot R_1 = U_1 \cdot R_g \quad /:U_g$

$R_1 = \frac{U_1 \cdot R_g}{U_g}$

$R_1 = \frac{3\text{ V} \cdot 330\text{ k}\Omega}{9\text{ V}}$

$R_1 = 110\text{ k}\Omega$

Der Teilwiderstand, an dem 3 Volt abgegriffen werden, muß 110 kΩ betragen.

Für den Restwiderstand gilt:

$R_g = R_1 + R_2$
$R_1 + R_2 = R_g \quad | - R_1$
$R_2 = R_g - R_1$
$R_2 = 330\text{ k}\Omega - 110\text{ k}\Omega$
$R_2 = 220\text{ k}\Omega$

Der zweite Widerstand des Spannungsteilers muß 220 kΩ betragen.

2.2.5. Der Kondensator

Kondensatoren werden in vielen Schaltungen der Elektronik benötigt. Es gibt unterschiedliche Arten und Bauformen.

Wir unterscheiden
- den ungepolten Kondensator —||— und
- den gepolten Kondensator

Alle Kondensatoren haben das gleiche Wirkprinzip:
Ein Kondensator kann elektrische Ladungen speichern. Zu diesem Zweck wird er elektrisch aufgeladen. Wird er entladen, so verschwinden die elektrischen Ladungen wieder. Das Fassungsvermögen des Kondensators bezeichnet man als Kapazität. Die Kapazität ist gleichzeitig sein Nennwert, also die Größe, auf die es in den Schaltungen eigentlich ankommt.

Merke:
Das Formelzeichen der Kapazität ist C.
Einheiten der Kapazität sind F (Farad)
μF (Mikrofarad)
pF (Pikofarad)
nF (Nanofarad).

Prinzipiell bestehen Kondensatoren aus zwei sich gegenüberstehenden Elektroden (Metallplatten, Metallfolie, elektrisch leitende Flüssigkeiten, ...), die durch einen Isolator - das Dielektrikum - voneinander getrennt sind.

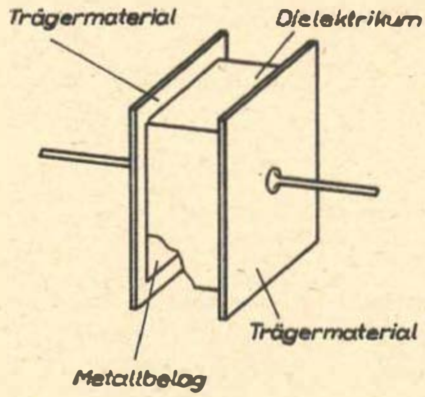


Abb. 2.12
Prinzipaufbau des Kondensators

Lädt man einen Kondensator auf, indem man ihn an eine Spannungsquelle anschließt, dann entstehen auf der einen Elektrode positive und auf der anderen Elektrode negative elektrische Ladungen.
Wegen des Dielektrikums, das ja aus einem Isolator besteht, kann von einer Elektrode zur anderen kein Strom fließen. Die Ladungen können daher nicht abfließen und bleiben auch nach Wegnahme der Spannungsquelle erhalten. Erst wenn man die beiden Anschlüsse leitend miteinander verbindet (z. B. durch einen Draht), dann können die Ladungen abfließen und der Kondensator entlädt sich.

Wie verhält sich ein Kondensator im Gleichstromkreis?
Baue Schaltung 2.13 auf. Verwende nacheinander die Kondensatoren C_1, C_2 und C_3. Beginne mit C_1.
Zum Laden des Kondensators stelle die Verbindung 1-2 her. LED 1 zeigt an, daß ein Ladestrom fließt. Der Ladevorgang ist nach Verlöschen von LED 1 beendet. Der Kondensator ist geladen.
Löse die Verbindung 1-2 und stelle die Verbindung 2-3 her. Jetzt zeigt LED 2 an, daß der Kondensator entladen wird. Der Entladevorgang ist nach Verlöschen von LED 2 beendet. Der Kondensator ist entladen.
Wiederhole den Versuch mit den Kondensatoren C_2 und C_3.
Sowohl beim Laden als auch beim Entladen konnten wir nur ein kurzes Aufleuchten der LED feststellen. Und die Zeitdauer war für jeden Kondensator anders. Beim Laden floß der Strom bis zum Erreichen einer bestimmten Ladungsmenge. Danach war der Kondensator geladen, und es floß kein Strom mehr. Beim Entladen wurde der Kondensator mit einem Widerstand überbrückt, wobei die elektrischen Ladungen abfließen, sich ausgleichen konnten. In diesem Falle floß der Strom (vom Kondensator aus gesehen) in die entgegengesetzte Richtung.
Man kann feststellen, daß Lade- und Entladevorgang um so länger dauern, je größer die Kapazität C des Kondensators ist.
Tausche jetzt die Widerstände R_1 und R_2 gegen größere aus und führe die Versuche noch einmal durch. Dann kann man feststellen, daß Lade- und Entladevorgang auch umso länger dauern, je größer der dem Kondensator vorgeschaltete Widerstand R ist.
Kapazität C und Widerstand R haben einen Einfluß auf die Dauer des Lade- und Entladevorgangs.

Merke:
- Eine Kombination von Widerstand und Kondensator nennt man ein R-C-Glied.
- Das Produkt R . C ergibt die Zeitkonstante τ (sprich: tau) $\tau = R \cdot C$
- die Zeitkonstante ist für alle Schaltvorgänge bedeutend, bei denen Kondensatoren eine Rolle spielen. (Je größer die Zeitkonstante, um so größer die Dauer des Lade- und Entladevorgangs und umgekehrt)

Beim Laden des Kondensators nimmt seine Spannung zu und der Ladestrom ab. Beim Entladen nehmen Strom und Spannung ab. Diese Vorgänge vollziehen sich aber nicht linear, also nicht mit gleichbleibender Geschwindigkeit. Am Anfang geschieht alles schnell und am Schluß wird alles langsamer. Daher ist die endgültige Lade- und Entladezeit kaum von Bedeutung, sondern die Zeit, die durch die Zeitkonstante gegeben ist.
In der Zeit $t = \tau$ ist der Kondensator auf ungefähr 63 % der anliegenden Spannung aufgeladen bzw. auf 37 % der ursprünglichen Spannung entladen.

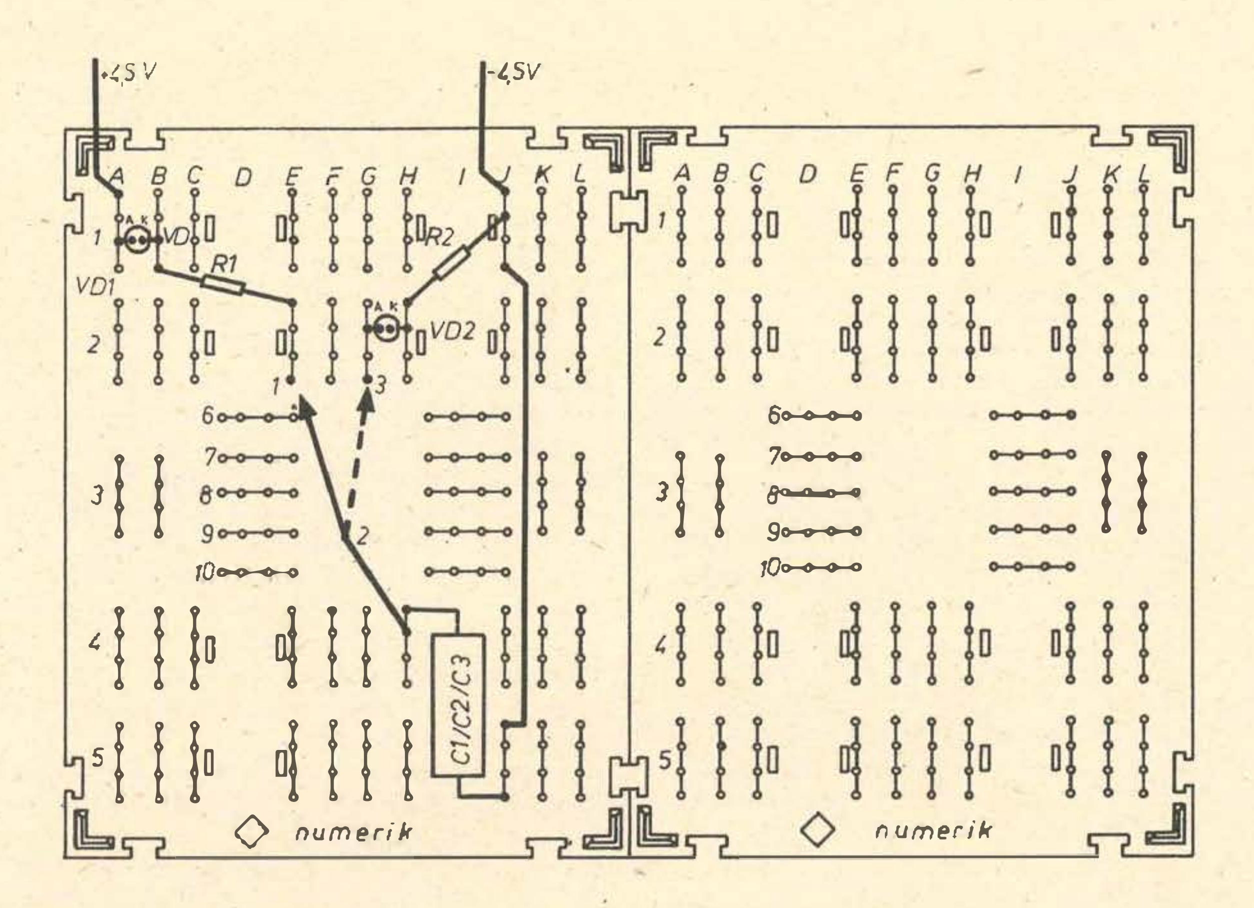


Abb. 2.13-A

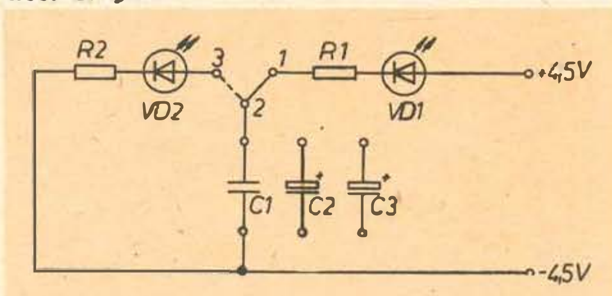


Abb. 2.13-S Ladevorgänge an Kondensatoren

Schichtwiderstand	R1	1,5 kΩ
Schichtwiderstand	R2	2,7 kΩ
Lichtemitterdiode	VD1	VQA 23
Lichtemitterdiode	VD2	VQA 13-1
Kondensator	C1	100 nF
Kondensator	C2	100 µF
Kondensator	C3	470 µF

2.3. Die Diode, ein Ventil für den elektrischen Strom

Unsere Diode ist ein Halbleiterbauelement, zu dessen Herstellung Halbleiter verwendet wurden. Wir wollen die Wirkungsweise dieses Halbleiterbauelementes kennenlernen.

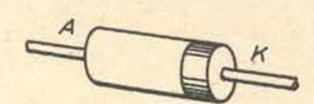


Abb. 2.14
Siliziumdiode SAY 20 (vergrößert)

A K

der Anschluß "A" heißt Anode
der Anschluß "K" heißt Katode

Abb. 2.15
Schaltzeichen der Diode

Baue folgende Schaltung auf und führe die Versuche durch:

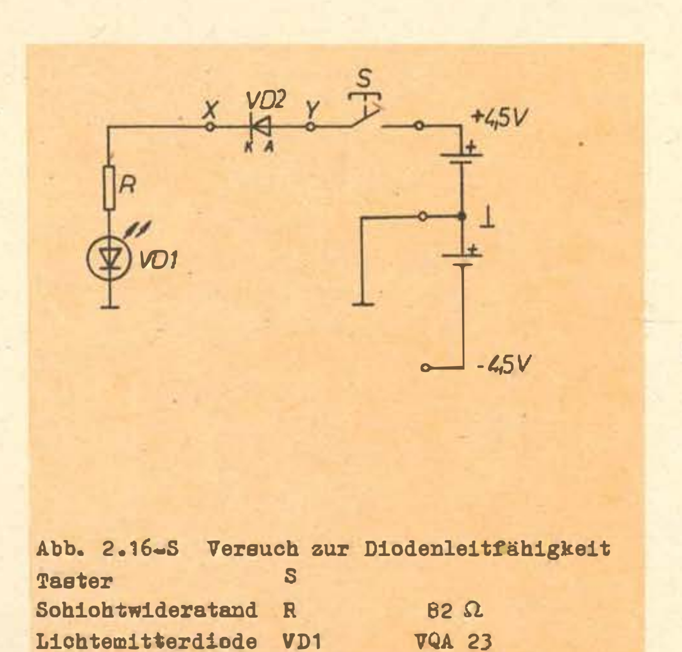


Abb. 2.16-S Versuch zur Diodenleitfähigkeit

Taster	S	
Schichtwiderstand	R	82 Ω
Lichtemitterdiode	VD1	VQA 23
Diode	VD2	SAY 20

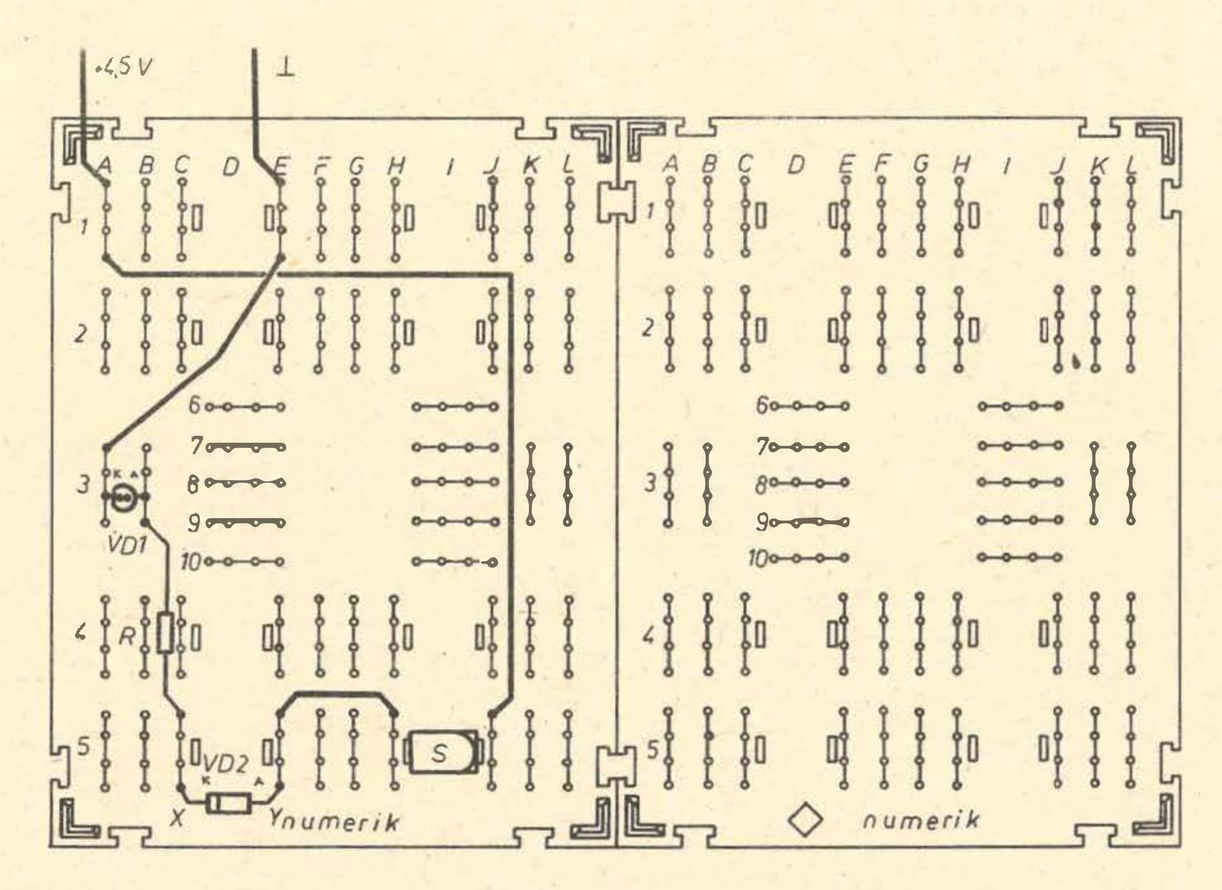


Abb. 2.16-A

1. Versuch:

Schalte die Diode wie in Abb. 2.16 angegeben in den Stromkreis! Schließe Taster S und beobachte die LED VD1!

Öffne Taster S wieder! Was haben wir festgestellt?

Liegen Anode der Diode am Pluspol und Katode der Diode am Minuspol, dann fließt durch die Diode ein Strom, welcher die LED VD1 zum Leuchten bringt.

2. Versuch:

Vertausche die Anschlüsse X und Y an der Diode VD2 (also "A" an X, "K" an Y). Schließe Taster S und beobachte die LED VD1! Öffne Taster S wieder!

Was konnten wir feststellen?

Liegen Katode der Diode am Pluspol und Anode der Diode am Minuspol, dann fließt durch die Diode kein Strom, die LED VD1 kann also auch nicht leuchten.

Genau genommen fließt auch beim zweiten Versuch ein Strom, es fließt ein Sperrstrom. Er ist aber so klein, daß er für uns keine Rolle spielt.

Wir sagen die Diode sperrt.

Merke:

Unter "Diode" versteht man ein Bauelement mit zwei Anschlüssen und stromrichtungsabhängigem Widerstand.

In Durchlaßrichtung (Anode an "+" und Katode an "-" angeschlossen) setzt die Diode dem Strom nur einen sehr geringen Widerstand entgegen. Die Diode leitet.

In Sperrichtung setzt die Diode dem Strom einen sehr hohen Widerstand entgegen. Die Diode sperrt.

Halbleiterdioden werden für verschiedene Verwendungszwecke hergestellt. Von den verschiedenen Diodenarten interessieren uns die Richtdiode, die Schaltdiode und die Lumineszenzdiode.

- Richtdioden dienen zur Umwandlung von Wechselstrom in Gleichstrom. Sie werden auch als Gleichrichterdioden bezeichnet.
- Schaltdioden dienen z. B. als elektrische Schalter in Digitalschaltungen (vgl. hierzu auch Versuche in Kapitel 3). Dabei interessieren zwei Schaltzustände der Diode, die durch die Polarität der anliegenden Spannung bestimmt werden.

  Der Stromkreis ist eingeschaltet, wenn die Spannung in Durchlaßrichtung anliegt und demzufolge durch die Diode ein Strom fließen kann. Der Stromkreis ist ausgeschaltet, wenn die Spannung in Sperrichtung anliegt und demzufolge auch kein Strom fließen kann. (Der geringe Sperrstrom ist hierbei nicht von Bedeutung).
- Lumineszenzdioden oder Lichtemitterdioden (LED)

  Diese Dioden werden grundsätzlich in Durchlaßrichtung betrieben. (Anode an "+" und Ka-

tode an "-"). Fließt ein Strom, dann leuchten diese Dioden. Sie werden als Anzeigeelement in unserem Baukasten genutzt.

2.3.1. Ein Polaritätsprüfgerät

Mit dieser Schaltung kann man die Polarität der Gleichspannungsquelle des Baukastens feststellen. Baue die Schaltung nach Abb. 2.17-S auf und führe den Versuch durch. Ausschlaggebend ist das Spannungspotential zwischen den Punkten A und B.
Legt man eine Brücke zwischen 1-2, dann wird die Polarität der Batterie GB 1 festgestellt. A ist positiv und B negativ. Folglich leuchtet LED VD2.
Legt man eine Brücke zwischen 3-2, dann wird die Polarität der Batterie GB 2 festgestellt. A ist negativ und B positiv. Folglich leuchtet LED VD1. Man kann auch die Polarität fremder Gleichspannungsquellen feststellen.
Ihre Spannung muß mindestens 2 Volt und darf höchstens 9 Volt betragen (2 V< U< 9 V).

Zu diesem Zweck muß
- die eigene Spannungsquelle an den Punkten C und D abgetrennt und
- die fremde Spannungsquelle an A und Masse angeschlossen werden.

Leuchtet LED VD2, dann liegt am Punkt A der Pluspol. Leuchtet LED VD 1, dann liegt am Punkt A der Minuspol.

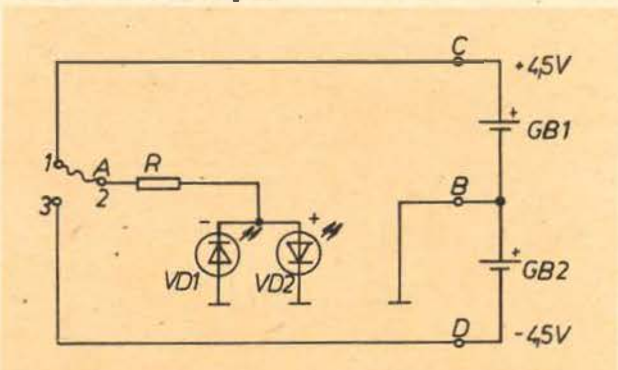


Abb. 2.17-S Polaritätsprüfgerät

Schichtwiderstand	R	160 Ω
Lichtemitterdiode	VD1	VQA 23
Lichtemitterdiode	VD2	VQA 13-1

zu prüfende Spannung
(Punkt C oder D)

Abb. 2.17-A

2.4. Der Transistor

Der Transistor ist ein steuerbares Halbleiterbauelement, ein aktives Bauelement der Elektronik.

Transistoren werden verwendet zum Regeln, Verstärken und Schalten von Strömen und Spannungen.
Bei den folgenden Versuchen werden wir erfahren, wie man Transistoren in Schaltungen der

Elektronik für solche Zwecke nutzen kann. Zuvor aber etwas Theorie, die das Zurechtfinden erleichtern soll.

Man unterscheidet u. a.

- den bipolaren Transistor und
- den unipolaren Transistor (z. B. Feldeffekttransistoren)

Wir verwenden nur den bipolaren Transistor und bezeichnen ihn einfach als Transistor.

Weiter müssen wir unterscheiden zwischen npn-Transistor und pnp-Transistor.

Beide unterscheiden sich:

1. durch die verwendete Halbleitertechnologie. Als Halbleitermaterial kann Silizium oder Germanium verwendet werden, so daß folgende Transistorarten möglich sind:
   Germanium - pnp-Transistoren
   Germanium - npn-Transistoren
   Silizium-pnp-Transistoren im Bau- } SC 307
   Silizium-npn-Transistoren kasten } SC 236
2. durch das Schaltzeichen

B C E npn-Transistor

B C E pnp-Transistor

Abb. 2.18
Schaltzeichen des Transistors

Die Anschlüsse heißen:
C-Kollektor
B-Basis
E-Emitter

3. durch die umgekehrte Polarität der anzuschließenden Betriebsspannung (dazu mehr beim Versuch Transistorprüfgerät)

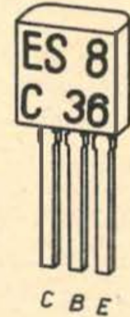


Abb. 2.19
npn-Transistor SC 236 E mit Anschlußbezeichnung

Meistens verwenden wir den npn-Transistor. In einigen Schaltungen werden wir npn-Transistor und pnp-Transistor gemeinsam verwenden, wobei ihre Eigenschaft genutzt wird, wegen der umgekehrten Polarität zueinander komplementär zu sein.

Der Transistor kann in drei Grundschaltungen betrieben werden; in Basisschaltung, Emitterschaltung und Kollektorschaltung.

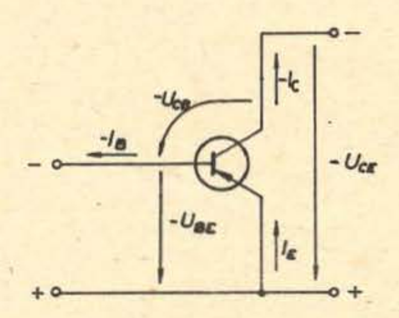
Dabei werden immer unterschieden

- der steuernde Stromkreis, über den die Stromsignale einfließen, und
- der gesteuerte Stromkreis, über den die durch den Transistor verstärkten Signale ausfließen.

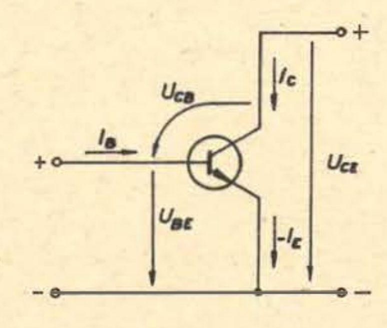
Beide Stromkreise haben immer eine gemeinsame Bezugselektrode, entweder den Kollektor, die Basis oder den Emitter. Die gemeinsame Elektrode wird durch die Grundschaltung bestimmt, in welcher man den Transistor verwendet. In der Basisschaltung ist die gemeinsame Elektrode die Basis, in der Emitterschaltung der Emitter und in der Kollektorschaltung der Kollektor.

Der Transistor ist ein stromgesteuertes Halbleiterbauelement.

Wir verwenden den Transistor in den meisten Fällen in Emitterschaltung.



Emitterschaltung eines pnp-Transistors



Emitterschaltung eines npn-Transistors

Abb. 2.20
Spannungen und Ströme am Bipolartransistor

Es bedeuten

U_{BE} - Spannung zwischen Basis und Emitter
U_{CE} - Spannung zwischen Kollektor und Emitter
U_{CB} - Spannung zwischen Kollektor und Basis
I_B - Basisstrom (steuert den Transistor)
I_C - Kollektorstrom (gesteuerter Strom)
I_E - Emitterstrom

Zum Steuern eines großen Kollektorstromes I_C

ist nur ein kleiner Basisstrom I_B notwendig.
Die Gleichstromverstärkung eines Transistors kann man nach folgender Formel berechnen.

$$B = \frac{I_C}{I_B}$$

Beispiel: gegeben: $I_C = 50\ \text{mA}$ gesucht: B
$I_B = 0{,}2\ \text{mA}$

Lösung: $B = \frac{I_C}{I_B} = \frac{50\ \text{mA}}{0{,}2\ \text{mA}} = \frac{0{,}05\ \text{A}}{0{,}0002\ \text{A}}$

$\underline{\underline{B = 250}}$

Der Transistor würde den Basisstrom 250-fach verstärken.
Vom Transistorhersteller werden die Stromverstärkungen ausgemessen und in festgelegte Gruppen eingeteilt. Die Bauelemente werden mit einem Buchstaben (A-F) als Kennzeichen für die Stromverstärkungsgruppe versehen.
Es bedeuten:

Kennzeichen	Bereich der Stromverstärkung
A	18 - 35
B	28 - 71
C	56 - 140
D	112 - 280
E	224 - 560
F	450 - 1120

In unserem Baukasten werden Transistoren der Stromverstärkungsgruppe E verwendet.

2.4.1. Der Transistor verstärkt einen kleinen Strom

Der folgende Versuch wird die Verstärkerwirkung des Transistors zeigen.
Baue folgende Schaltung auf:

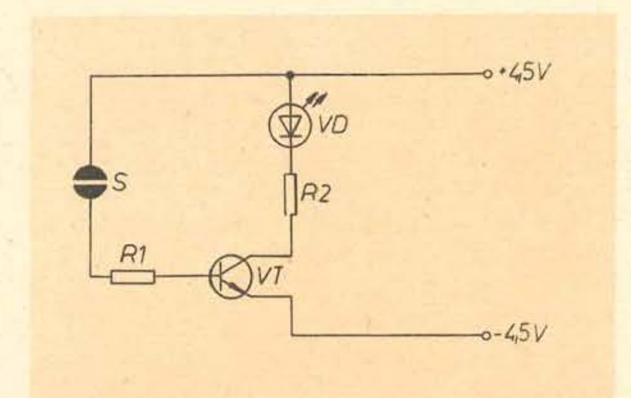


Abb. 2.21-S Verstärkerwirkung des Transistors

Berührungstaste	S	
Schichtwiderstand	R1	10 kΩ
Schichtwiderstand	R2	240Ω
Lichtemitterdiode	VD	VQA 13-1
Transistor	VT	SC 236 E (A2)

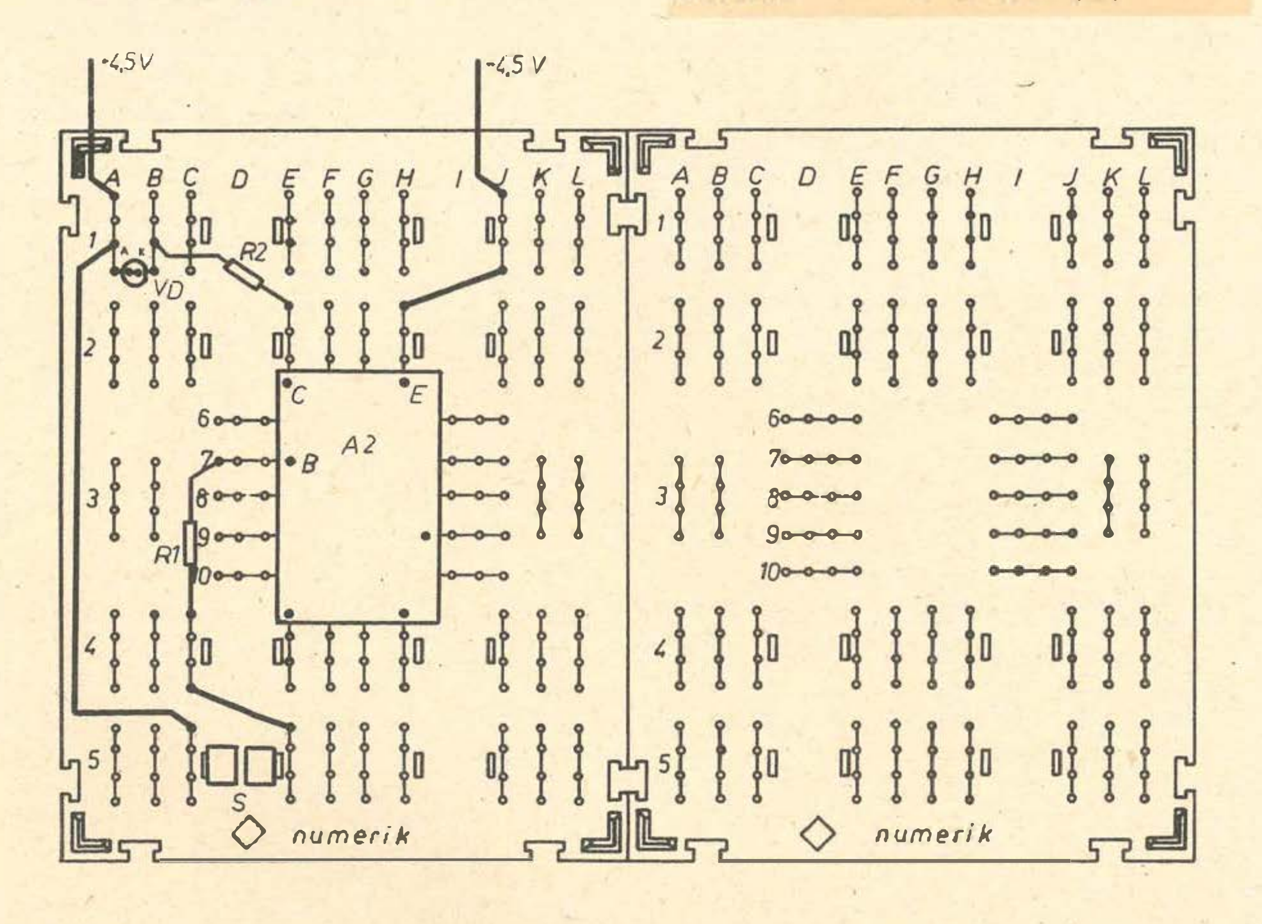


Abb. 2.21-A

Wenn wir die Kontakte der Berührungstaste S mit dem Finger überbrücken, dann muß die LED leuchten. Beim Loslassen der Taste muß die LED wieder verlöschen.

Was geht hier vor?
Durch den Finger fließt ein äußerst schwacher und ungefährlicher Strom von etwa 100 µA in den Transistor hinein.
Der Transistor verstärkt diesen Strom. Der verstärkte Strom reicht aus, um die LED zum Leuchten zu bringen.

2.4.2. Der Transistor, ein steuerbarer Widerstand

Der vorangegangene Versuch hat gezeigt, daß ein Transistor mit Hilfe des Basisstromes gesteuert werden kann. Bei diesem Versuch floß entweder ein Basisstrom oder keiner, je nachdem, ob wir die Sensortaste berührten oder nicht.
Wir können den Basisstrom aber auch kontinuierlich verändern und beobachten was dann geschieht.
Baue Schaltung 2.22 auf und führe den Versuch durch. Mit Hilfe des Stellwiderstands R1 wird das Spannungspotential an der Basis verändert und als Folge der Basisstrom. In einem bestimmten Stellbereich bemerken wir, daß die LED zu leuchten beginnt und bei weiterem Verstellen immer heller wird. Der Transistor wird durchgesteuert. Er wirkt wie ein verstellbarer Widerstand, den wir der LED vorgeschaltet haben.

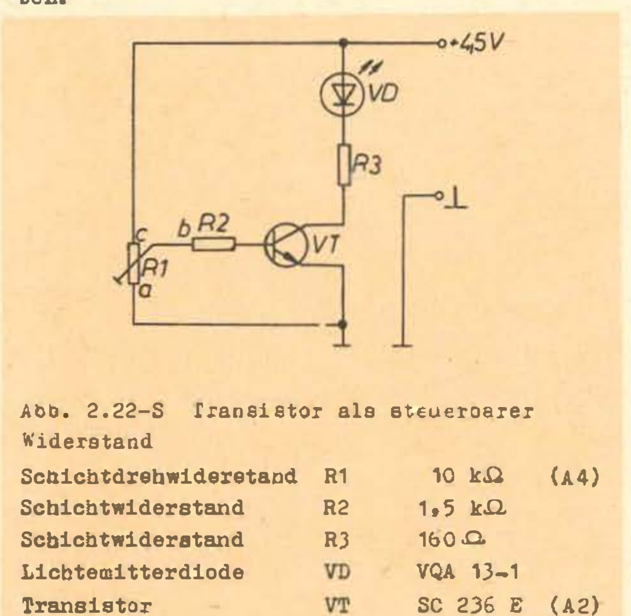


Abb. 2.22-S Transistor als steuerbarer Widerstand

Schichtdrehwiderstand	R1	10 kΩ	(A4)
Schichtwiderstand	R2	1,5 kΩ	
Schichtwiderstand	R3	160 Ω	
Lichtemitterdiode	VD	VQA 13-1	
Transistor	VT	SC 236 E	(A2)

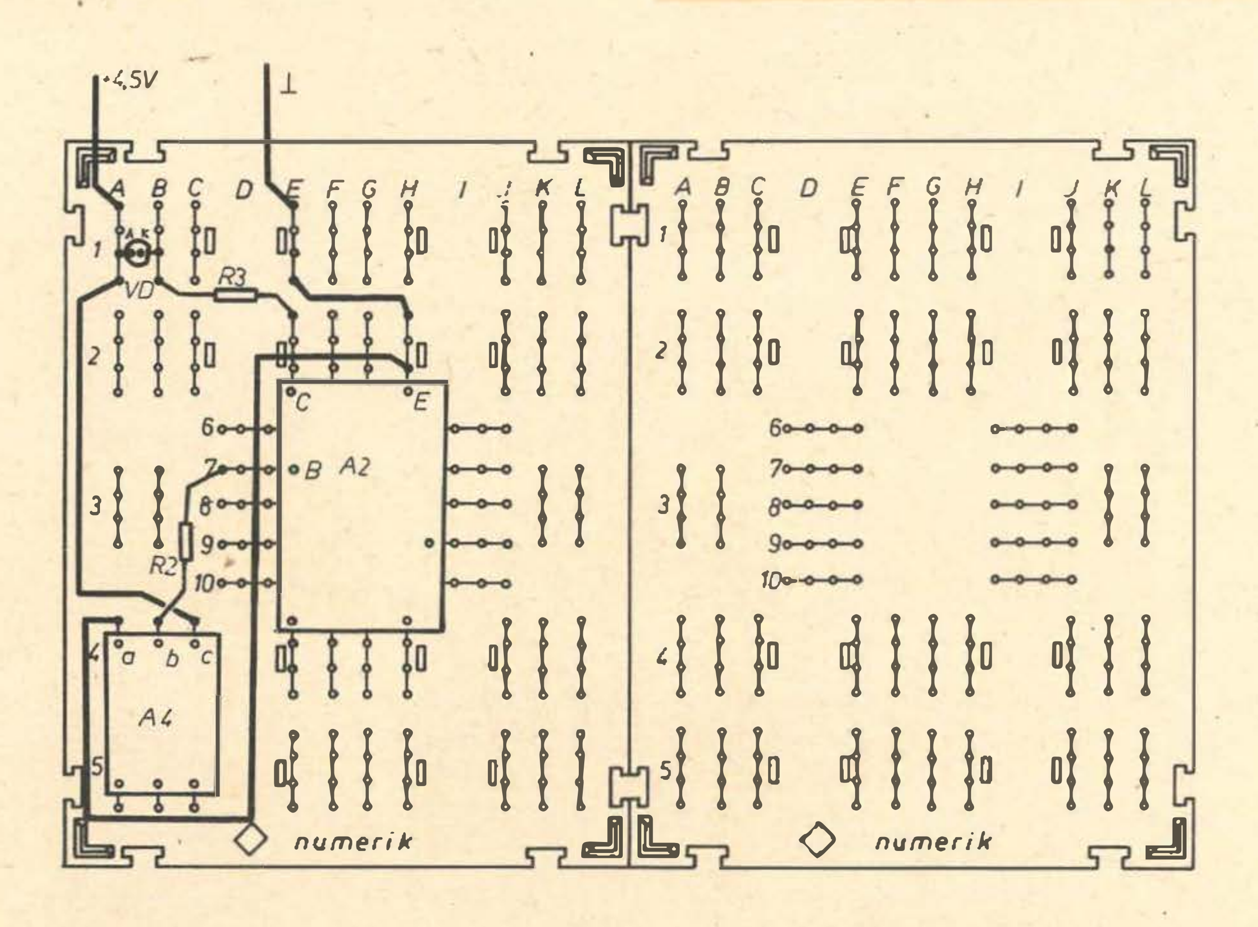


Abb. 2.22-A

2.4.3. Ein Transistorprüfgerät

Wir prüfen mit dieser Schaltung, ob die Transistoren auf den Modulen A2 und A3 in Ordnung sind. Geprüft werden können npn- und pnp-Transistoren in Emitterschaltung.

Beachte, daß beide Transistortypen komplementär zueinander sind, das heißt, der pnp-Transistor benötigt die umgekehrte Polarität der Betriebsspannung U_B als der npn-Transistor.

Baue folgende Schaltung auf:

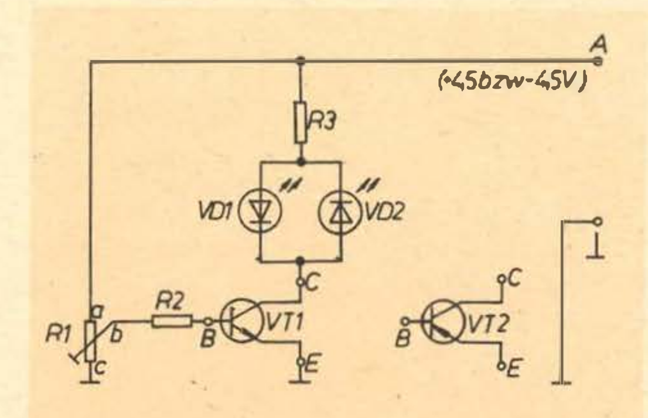


Abb. 2.23-S Transistorprüfgerät

Schichtdrehwiderstand	R1	10 kΩ	(A4)
Schichtwiderstand	R2	82 kΩ	
Schichtwiderstand	R3	82 Ω	
Lichtemitterdiode	VD1	VQA 13-1	
Lichtemitterdiode	VD2	VQA 23	
Transistor	VT1	SC 236 E	(A3)
Transistor	VT2	SC 307 E	(A3)

1. Versuch

Geprüft werden soll der npn-Transistor SC 236. Da es sich um einen npn-Transistor handelt, müssen der Kollektor "C" an "+" und der Emitter "E" an "-" angeschlossen werden. Die Basis "B" muß gegenüber dem Emitter "E" positives Potential erhalten. Das geschieht durch Anschluß der +4,5 V an Punkt A der Schaltung.

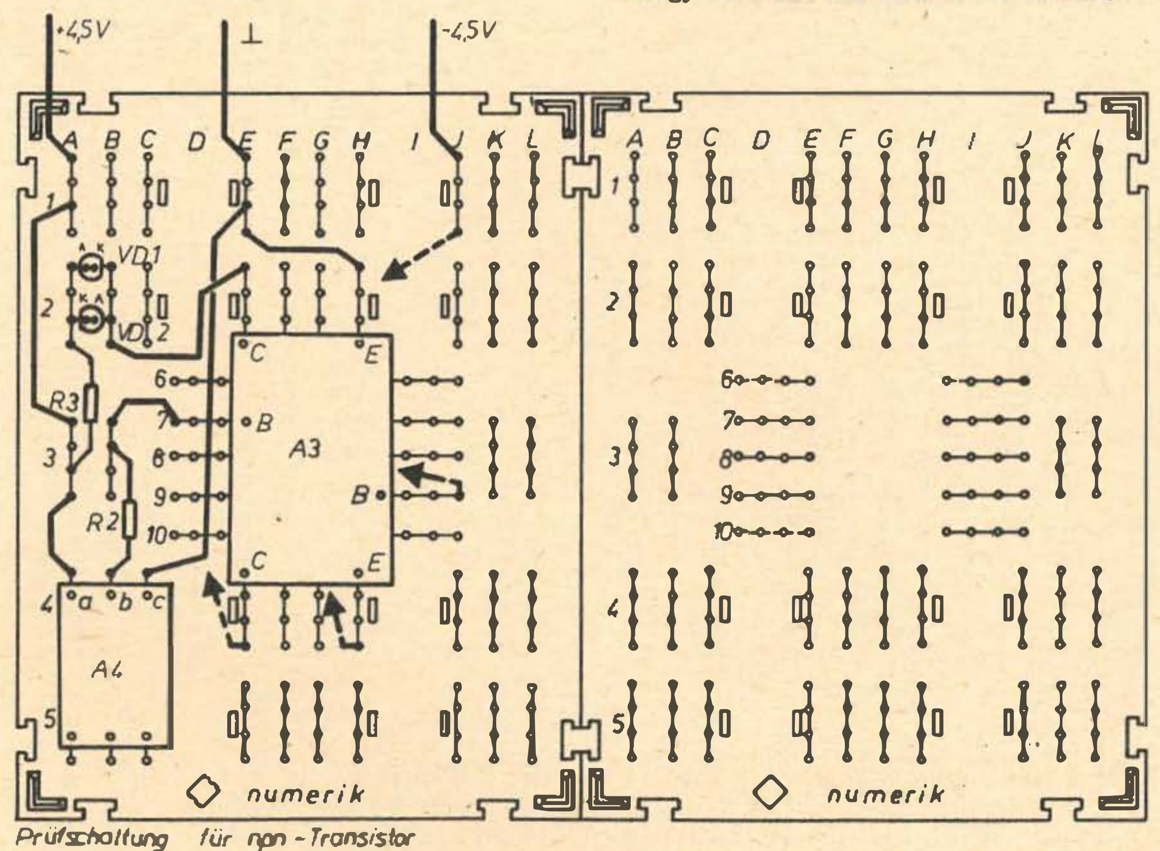
Wir überlegen:

- Als Spannungsquelle nutzen wir die positive Batteriespannung U_B = +4,5 V
- Die Masse liegt am Emitter und am Anschluß "c" des Schichtdrehwiderstandes R1
- Der Pluspol der Batterie liegt am Anschluß "a" des Schichtdrehwiderstandes R1 sowie über R3 und die LED VD1 am Kollektor des Transistors
- Liegt der Schleifer "b" des Schichtdrehwiderstandes R1 an "c", dann liegt zwischen Basis und Emitter keine Spannung an, da beide an Masse liegen.
- Wird der Schleifer "b" des Schichtdrehwiderstandes in Richtung "a" bewegt, so entsteht durch den zunehmenden Widerstand ein Spannungsabfall zwischen Basis und Emitter. Die Basis erhält gegenüber dem Emitter positives Potential.

Führe den Versuch durch!

Was stellen wir fest?

Dreht man den Schleifer "b" des Schichtdrehwiderstandes R1 so, daß an der Basis ein immer größeres positives Potential gegenüber dem Emitter entsteht, dann steuert der Transistor durch und die LED VD1 leuchtet. Geschieht das, dann ist der Transistor in Ordnung. Sollte der Versuch nicht gelingen, wird die Schaltung nochmal überprüft. Ist die Schaltung in Ordnung, dann ist der Transistor defekt.



Prüfschaltung für npn-Transistor

Abb. 2.23-A

Merke:
Ein npn-Transistor in Emitterschaltung wird immer so angeschlossen, daß
- der Kollektor am positiven Pol der Spannungsquelle liegt
- der Emitter am negativen Pol der Spannungsquelle liegt
- die Basis ein gegenüber dem Emitter positives Potential erhalten muß, damit der Transistor durchsteuern kann

2. Versuch:
Jetzt soll der pnp Transistor SC 307 geprüft werden. Da es sich um einen pnp-Transistor handelt, muß der Kollektor an "-" und der Emitter an "+" angeschlossen werden. Die Basis muß gegenüber dem Emitter negatives Potential erhalten. Das geschieht, wenn an Punkt A der Schaltung die -4,5 V angeschlossen werden (die +4,5 V natürlich vorher wieder abklemmen, da sonst ein Kurzschluß entsteht).

Was hat sich gegenüber Versuch 1 geändert?
- Als Spannungsquelle nutzen wir jetzt die -4,5 V
- Die Masse bleibt unverändert, also am Emitter des Transistors VT 2 und am Anschluß "c" des Schichtdrehwiderstandes R1
- Der Minuspol der Batterie liegt am Anschluß "a" des Schichtdrehwiderstandes R1 sowie über R3 und die LED VD2 am Kollektor.
- Liegt der Schleifer "b" des Schichtdrehwiderstandes an "c" dann liegt zwischen Basis und Emitter keine Spannung an, denn sowohl Basis als auch Emitter liegen an Masse.
- Wird der Schleifer "b" in Richtung "a" bewegt, so entsteht durch zunehmenden Widerstand ein Spannungsabfall zwischen Basis und Emitter. Die Basis erhält gegenüber dem Emitter negatives Potential.

Führe den Versuch durch!

Was stellen wir fest?

Dreht man Schleifer "b" des Schichtdrehwiderstandes so, daß an der Basis ein immer größeres negatives Potential gegenüber dem Emitter entsteht, dann steuert der Transistor durch und LED VD2 leuchtet. Geschieht das, dann ist der Transistor in Ordnung, auch hier gilt: Sollte der Versuch nicht gelingen, überprüfe die Schaltung. Ist diese in Ordnung, handelt es sich um einen defekten Transistor.

Merke:
Ein pnp-Transistor in Emitterschaltung wird immer so angeschlossen, daß
- der Kollektor am negativen Pol der Spannungsquelle liegt,
- der Emitter am positiven Pol der Spannungsquelle liegt,
- die Basis ein gegenüber dem Emitter negatives Potential erhalten muß, damit der Transistor durchsteuern kann.

Wie ist es zu erklären, daß im 1. Versuch die LED VD1 und im 2. Versuch die LED VD2 leuchtet?
Bereitet die Beantwortung der Frage Schwierigkeiten, dann schlagen wir nochmal bei der Diode in Abschnitt 2.3. nach.

2.4.4. Der Transistor steuert die Helligkeit

Das langsame Ein- bzw. Ausschalten von Glühlampen kennen wir von der Beleuchtung im Kino. Bevor der Film beginnt, wird das Licht langsam dunkler und geht schließlich aus. Ist der Film zu Ende, geht das Licht an und wird langsam heller. Mit dem folgenden Versuch wollen wir die Wirkung einer dazu notwendigen Schaltung demonstrieren:

Baue die Schaltung nach Abb. 2.24 auf!

Führe den Versuch folgendermaßen durch:
Schließe die Betriebsspannung an und drücke Taste S1 dauernd. Ist die Schaltung in Ordnung, dann beginnt die LED nach einigen Sekunden zu leuchten und wird langsam heller.

Nun lassen wir den Taster S1 los und drücken Taste S2. Jetzt wird die LED langsam dunkel und geht schließlich aus. Um das Wirkprinzip dieser Schaltung verstehen zu können, benötigen wir unsere erworbenen Kenntnisse über die Wirkungsweise des Spannungsteilers, über den Spannungsabfall, über das Zusammenwirken von Widerstand und Kondensator als R-C-Glied und über die Wirkungsweise des npn-Transistors.

Was geht in der Schaltung vor?
Das Signal, das den Vorgang der Hell-Dunkel-Steuerung bewirkt, wird durch das R-C-Glied (R1, C) erzeugt. Der Transistor verstärkt das Signal und steuert die LED.
Zum besseren Verständnis lösen wir jetzt die Schaltung in Funktionseinheiten auf und betrachten deren Funktion einzeln.
Zuerst wollen wir uns über die Wirkung des R-C-Gliedes klar werden. Abbildung 2.25 zeigt das R-C-Glied, das aus dem Widerstand R1 und dem Elektrolytkondensator C gebildet wird. Betätigen wir den Taster S1, dann fließt ein Strom, der den Kondensator auflädt. Der Strom wird mit zunehmender Ladung des Kondensators C immer kleiner und versiegt schließlich, wenn der Kondensator geladen ist. Die Zeit, in der das geschieht, wird durch die Zeitkonstante (tau) bestimmt. Aus $\tau = R \cdot C$ folgt, daß der Vorgang um so länger dauert, je größer R oder/und C sind.

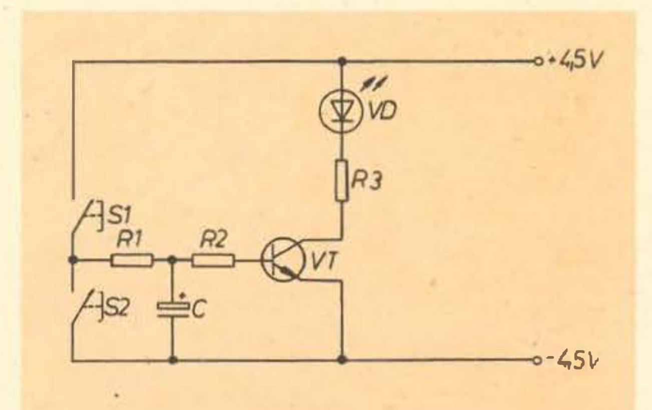


Abb. 2.24-S Helligkeitssteuerung

Taster	S1	
Taster	S2	
Schichtwiderstand	R1	100 kΩ
Schichtwiderstand	R2	10 kΩ
Schichtwiderstand	R3	240 Ω
Elektrolytkondensator	C	470 µF
Lichtemitterdiode	VD	VQA 13-1
Transistor	VT	SC 236 E (A2)

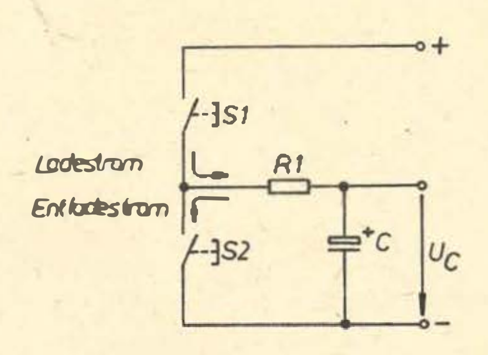


Abb. 2.25
R-C-Glied aus Abb. 2.24

Die Spannung U_C am Kondensator, die für die nachfolgende Transistorstufe die Steuerspannung darstellt, steigt während der Aufladezeit bis auf ihren Maximalwert. Das Erreichen dieses Maximalwertes ist daran zu erkennen, daß die LED nicht mehr heller wird. Der Widerstand R3 (Abb. 2.26) begrenzt den Strom, der durch die Diode und dem Transistor fließen kann.

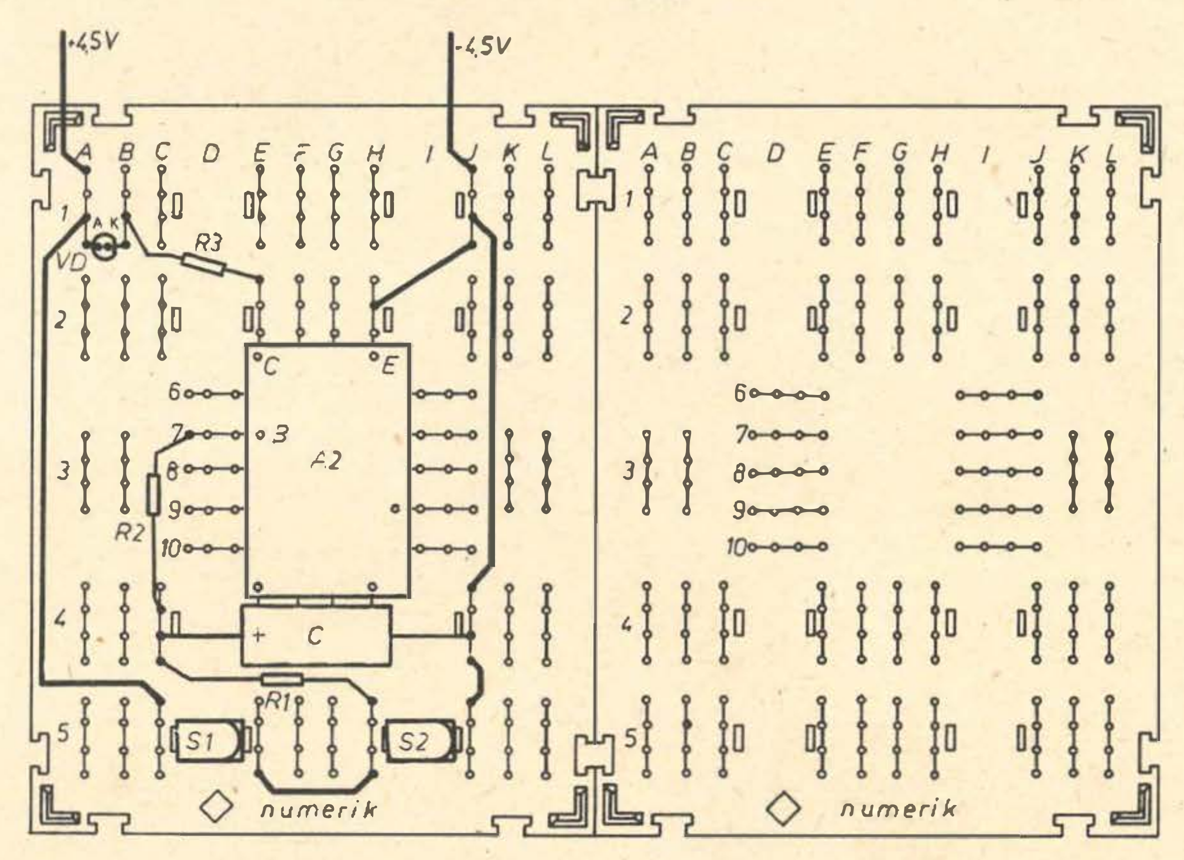


Abb. 2.24-A

Lassen wir den Taster S1 los und drücken Taster S2, dann fließt ein Strom, der Entladestrom, der den Kondensator C entlädt. Der Strom wird mit abnehmender Ladung des Kondensators immer schwächer und versiegt schließlich.
Auch die Spannung U_C am Kondensator verhält sich so. Von ihrem Maximalwert sinkt die Spannung bis auf Null Volt ab.
Die Zeit, in der das geschieht, wird auch hier wieder durch die Zeitkonstande bestimmt. Wie beim Aufladen dauert das Entladen um so länger, je größer die Zeitkonstante ist.
Jetzt betrachten wir die andere Baugruppe (Abb. 2.26), bestehend aus Transistor, Widerstand R2, Widerstand R3 und LED.

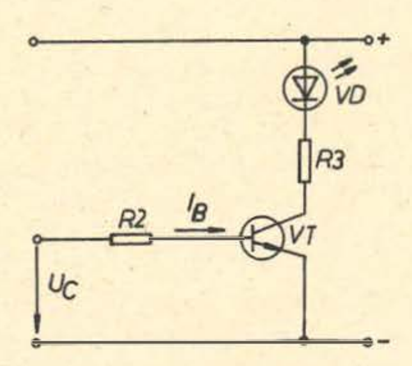


Abb. 2.26
LED-Ansteuerung aus Abb. 2.24

Mit dem Wachsen des Betrages der Spannung U_C steuert der Transistor durch, wobei der Kollektorstrom ansteigt. Die LED beginnt zu leuchten und wird mit zunehmenden Strom immer heller. Erreicht U_0 schließlich ihren größten Wert (in diesem Fall etwa 1,2 V), dann ist auch der größte Kollektorstrom erreicht und die LED leuchtet hell. Der Widerstand R3 begrenzt diesen Strom, damit LED und Transistor nicht zerstört werden. Sinkt die Spannung U_0, dann verringert sich auch der Kollektorstrom und die LED wird dunkel.
Damit ein Kollektorstrom durch den Transistor fließen kann ist ein Basisstrom I_B notwendig. Der Basisstrom ist zwar sehr klein aber er entlädt den Kondensator C trotzdem sehr langsam. Wir können dies überprüfen, indem wir nach dem Drücken des Tasters S1 und dem Aufladen des Kondensators den Taster loslassen, den Taster S2 aber nicht betätigen. Der Kondensator entlädt sich jetzt über Widerstand R2 und den Transistor VT. Dies dauert aber wesentlich länger als beim Drücken von Taster S2, also der Entladung des Kondensators über Widerstand R1.

3. Mit der Digitaltechnik in ein neues Elektronikzeitalter

Die digitale Schaltungstechnik gewinnt immer mehr an Bedeutung und wird durch den Einsatz der Mikroelektronik ständig weiterentwickelt. Digitale Schaltungen realisieren viele Aufgaben der Informationsgewinnung, -speicherung, -übertragung und -verarbeitung. Sie finden Anwendung in der Digitaluhr, im Taschenrechner, in modernen Anlagen der Datenverarbeitung, im Computer u.a. Die Steuerung und Regelung moderner Maschinen, die Automatisierung ganzer Industrieanlagen und die Steuerung von Robotern sind ohne digitale Schaltungstechnik und ihre Realisierung mit Hilfe mikroelektronischer Bauelemente nicht denkbar.

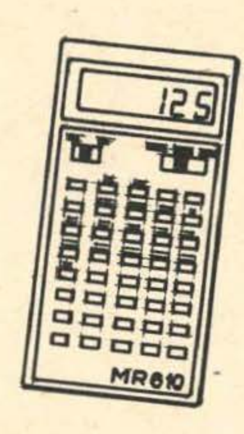


Abb. 3.01
Taschenrechner – ein Anwendungsbeispiel der Mikroelektronik

Was ist aber das besondere an der digitalen Schaltungstechnik?

Die digitale Schaltungstechnik unterscheidet nur zwei Signalwerte, den Signalwert 0 und den Signalwert 1. Diese Signalwerte werden durch Spannungswerte dargestellt, die wir als Pegel bezeichnen. So unterscheiden wir zwischen einem H-Pegel und einem L-Pegel:

H-Pegel
Die Bezeichnung ist vom englischen Wort "high" (sprich: "hei") für hoch abgeleitet und wird für den Pegel benutzt, der der positivsten Spannung der Schaltung am nächsten liegt.

L-Pegel
Hier steht das "L" für "low" (sprich: "loh"), das im Deutschen niedrig bedeutet. Bezeichnet wird damit der Pegel, welcher der negativsten Spannung der Schaltung am nächsten liegt.

Entsprechend der Zuordnung zwischen den Signalwerten 0 und 1 und den Pegeln L und H unterscheiden wir zwei Logikarten:

1. Die negative Logik:
   Signalwert 0 bedeutet H-Pegel
   Signalwert 1 bedeutet L-Pegel
2. Die positive Logik:
   Signalwert 0 bedeutet L-Pegel
   Signalwert 1 bedeutet H-Pegel

In unserem Baukasten wird aufgrund der eingesetzten aktiven Bauelemente die positive Logik verwendet.

Bereitstellung und Verarbeitung der Pegel kann durch alle Bauelemente erfolgen, die Schalterfunktion (Ein/Aus) erfüllen, so z. B. durch Taster, Relais, Dioden, Transistoren und integrierte Schaltkreise.
Sinnvoll nutzbare digitale Schaltungen enthalten aber sehr viele Schaltfunktionen, so daß die Bauteile klein und betriebssicher sein müssen. Solche Forderungen erfüllen aber nur Halbleiterbauelemente und hier vor allem die integrierten Schaltkreise.

3.1. Grundelemente der Digitaltechnik

Im folgenden geht es um fünf Grundelemente der Digitaltechnik die wir als Funktionseinheiten für logische Verknüpfungen bezeichnen. Es handelt sich um die logischen Verknüpfungen UND, ODER, NEGATION, NAND, NOR.
Bezeichnung der Grundelemente:

deutsch	englisch
UND	AND (sprich: änd)
negiertes UND	NAND (sprich: nänd)
ODER	OR
negiertes ODER	NOR

Ihre Bezeichnung kennzeichnet den Einfluß, den ein oder mehrere Eingangssignale (x) auf ein Ausgangssignal (y) haben. Wir wollen diese Grundelemente oder auch Gatter mit Dioden und mit Transistoren realisieren. Wir können dabei unsere bisher erarbeiteten Kenntnisse anwenden und erweitern, indem wir versuchen die Funktion der Schaltungen zu begreifen. Baue die Versuche nacheinander auf und überprüfe ihre Funktion anhand der Schaltbelegungstabelle!

Merke:
Die Schaltbelegungstabelle gibt in übersichtlicher Form die Schaltzustände der Gatter bzw. der Schaltung wieder. In ihr wird der zu bestimmten Eingangszuständen gehörende Ausgangszustand dargestellt.

Dafür ein Beispiel:

	x	y
1.	H	L
2.	L	H

1. Fall: am Eingang x liegt H-Pegel, am Ausgang y liegt L-Pegel,
2. Fall: am Eingang x liegt L-Pegel, am Ausgang y liegt H-Pegel

Die Eingabe der Pegel erfolgt bei unseren Versuchen durch Taster. Die Anzeige der Pegel erfolgt bei den Versuchen durch LED:

LED leuchtet: H-Pegel
LED leuchtet nicht: L-Pegel

Die LED mit Widerstand 82 Ohm in Reihe, zur Strombegrenzung, wird dabei immer zwischen Punkt y (Ausgang) und Minus angeschlossen.
In den Schaltungen bedeuten:

- Die Angabe ⊥ (Masse) den Minuspol der Batterie GB 1 (siehe Versuch 2.1. bzw. Abb. 1.05)
- die Angabe +4,5 V den Pluspol der Batterie GB 1 mit der Spannung 4,5 Volt gegenüber Masse. Wir bezeichnen +4,5 V als positives Potential.

Ein weiteres wichtiges Hilfsmittel in der digitalen Schaltungstechnik ist die Zustandsgleichung.

Merke:
Die Zustandsgleichung ist die mathematische Form der logischen Funktionen der Grundgatter bzw. Schaltung. Aus der Zustandsgleichung wird im Normalfall eine Schaltung entwickelt.

Bedeutung der in einer Zustandsgleichung verwendeten Symbole:

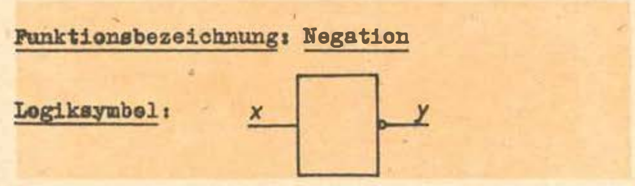
y	Ausgangsgröße
$x, x_1, x_2 \ldots$	Eingangsgröße
v	logisches Symbol für ODER
. (kann auch weggelassen werden)	logisches Symbol für UND
‾ z.B. $\bar{x}$	Negation

3.1.1. Der Negator

Der Negator hat eine "umkehrende " Funktion. Ein H-Pegel am Eingang x hat einen L-Pegel am Ausgang y zur Folge und umgekehrt.
Ein Negator hat immer nur einen Eingang (x) und einen Ausgang (y).

Funktionsbezeichnung: Negation

Logiksymbol:



(Der kleine Kreis am Ausgang bedeutet Inversion, Umkehrung des Signalpegels, Negation)

Schaltbelegungstabelle:

	x	y
1.	H	L
2.	L	H

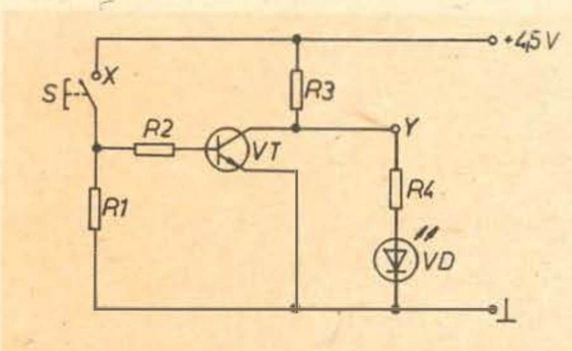


Abb. 3.02-S Negator

Taster	S	
Schichtwiderstand	R1	22 kΩ
Schichtwiderstand	R2	1,5 kΩ
Schichtwiderstand	R3	120 Ω
Schichtwiderstand	R4	82 Ω
Lichtemitterdiode	VD	VQA 13-1
Transistor	VT	SC 236 E (A2)

Zustandsgleichung: $y = \bar{x}$

Baue nacheinander die beiden Schaltungen auf und überprüfe ihre Funktion anhand der Schaltbelegungstabelle!

1. Versuch: Abb. 3.02

Eingang x:
H-Pegel: Taster gedrückt
L-Pegel: Taster offen
Ausgang y:
H-Pegel: LED leuchtet
L-Pegel: LED leuchtet nicht

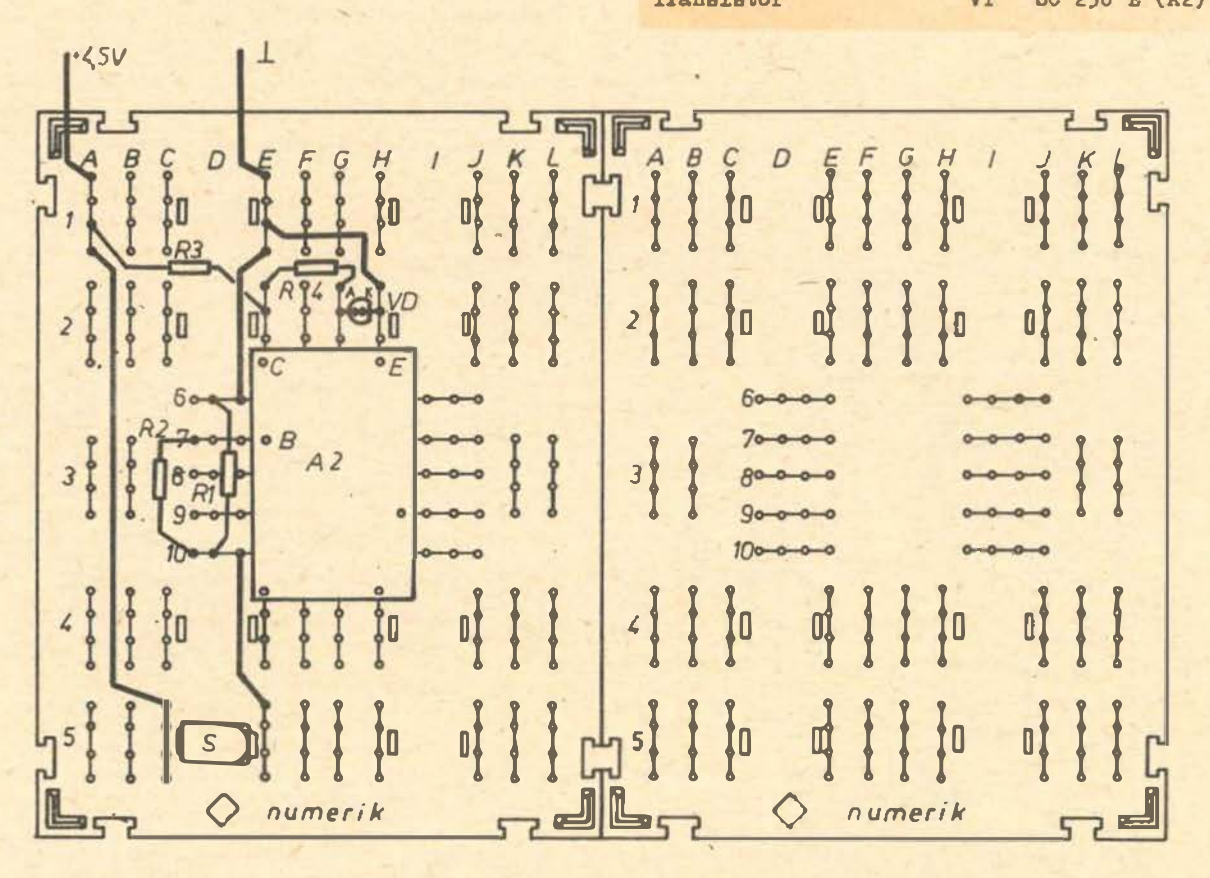


Abb. 3.02-A

Geben wir durch Schließen des Tasters einen H-Pegel ein, dann bekommt die Basis des Transistors Spannung. Der Transistor steuert durch, er wird leitend, wodurch der bis dahin vorhandene gewesene Spannungsabfall zwischen Kollektor und Emitter verschwindet (bis auf einen unbedeutenden Rest). Als Folge verlischt die LED. Am Ausgang liegt L-Pegel an.

Achtung: Bei den Abbildungen 3.02-S, 3.03-S, 3.05-S, 3.08-S, 3.09-S, 3.10-S, 3.11-S, 3.12-S und 3.13-S muß die Bezeichnung der Eingangssignale x bzw. x_1 und x_2 laut folgender Darstellung angeordnet sein:

S x S1 x_1 S2 x_2 +4,5V

2. Versuch: Abb. 3.03

Schaltbelegungstabelle:

Eingang x	Ausgang y_1	Ausgang y_2
H	L	H
L	H	L

Der Transistor VT1 entspricht dem Negator aus dem vorangegangenen Versuch (vergleiche die Schaltbelegungstabellen). Durch Nachschalten eines zweiten Negators erhalten wir wieder die logischen Pegel des Eingangssignals (Ausgang y_2).

Zustandsgleichung: $y_1 = \bar{x}$

$y_2 = \bar{y}_1$

$y_2 = \bar{\bar{x}} = x$

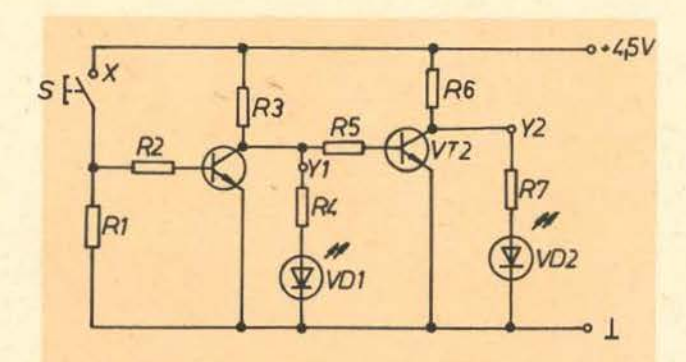


Abb. 3.03-S Reihenschaltung zweier Negatoren

Taster	S	
Schichtwiderstand	R1	22 kΩ
Schichtwiderstand	R2	1,5 kΩ
Schichtwiderstand	R3	120 Ω
Schichtwiderstand	R4	82 Ω
Schichtwiderstand	R5	2,7 kΩ
Schichtwiderstand	R6	240 Ω
Schichtwiderstand	R7	160 Ω
Lichtemitterdiode	VD1	VQA 13-1
Lichtemitterdiode	VD2	VQA 23
Transistor	VT1	SC 236 E (A2)
Transistor	VT2	SC 236 E (A2)

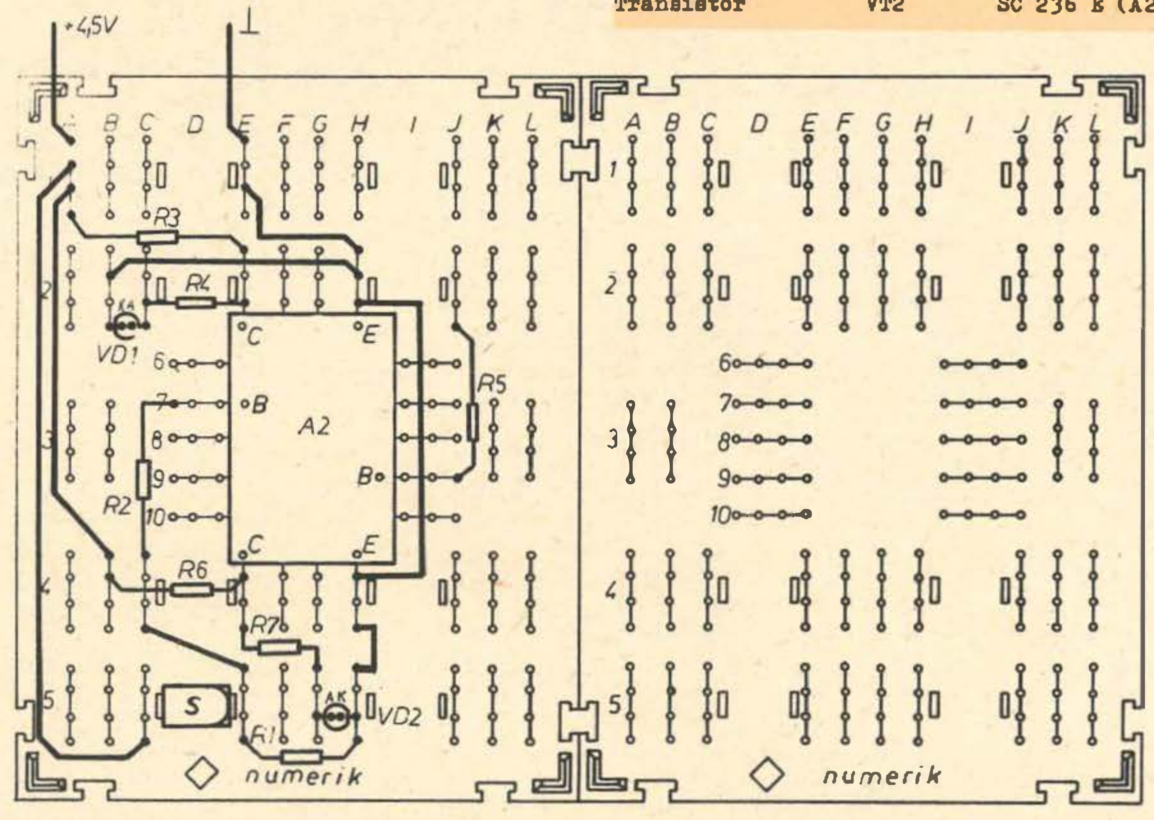
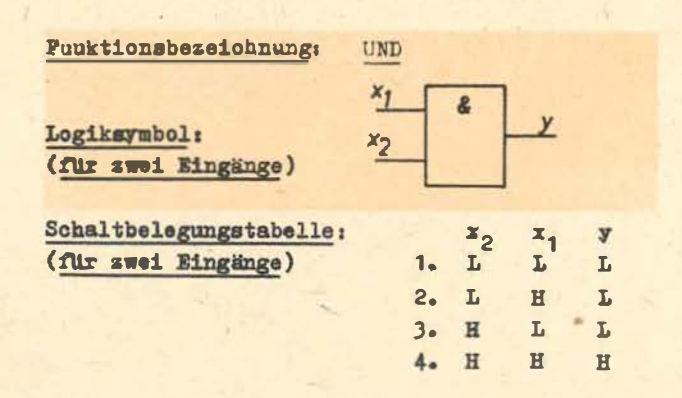


Abb. 3.03-A

3.1.2. Das UND-Gatter

UND-Gatter haben immer mehrere Eingänge (x_1, x_2, ... x_n) und einen Ausgang y. Bei einem UND-Gatter tritt am Ausgang nur dann ein H-Pegel auf, wenn alle Eingänge H-Pegel erhalten. In allen anderen Fällen liegt am Ausgang L-Pegel.



Funktionsbezeichnung: UND

Logiksymbol: (für zwei Eingänge)

Schaltbelegungstabelle: (für zwei Eingänge)

	x_2	x_1	y
1.	L	L	L
2.	L	H	L
3.	H	L	L
4.	H	H	H

Zustandsgleichung : $y = x_1 \cdot x_2$ oder

$y = x_1 x_2$

Baue nacheinander die zwei Schaltungen auf und überprüfe ihre Funktion als UND-Gatter anhand der Schaltbelegungstabelle!

1. Versuch: Abb. 3.04

Eingänge x_1 und x_2:
H-Pegel: Taster offen
L-Pegel: Taster gedrückt
Ausgang y:
H-Pegel: LED leuchtet
L-Pegel: LED leuchtet nicht

Taster	S1, S2	
Schichtwiderstand	R1	22 kΩ
Schichtwiderstand	R2	22 kΩ
Schichtwiderstand	R3	680 Ω
Schichtwiderstand	R4	1,5 kΩ
Schichtwiderstand	R5	1 kΩ
Schichtwiderstand	R6	120 Ω
Schichtwiderstand	R7	2,7 kΩ
Schichtwiderstand	R8	240 Ω
Schichtwiderstand	R9	82 Ω
Diode	VD1	SAY 20
Diode	VD2	SAY 20
Lichtemitterdiode	VD3	VQA 13-1
Transistor	VT1	SC 236 E (A2)
Transistor	VT2	SC 236 E (A2)

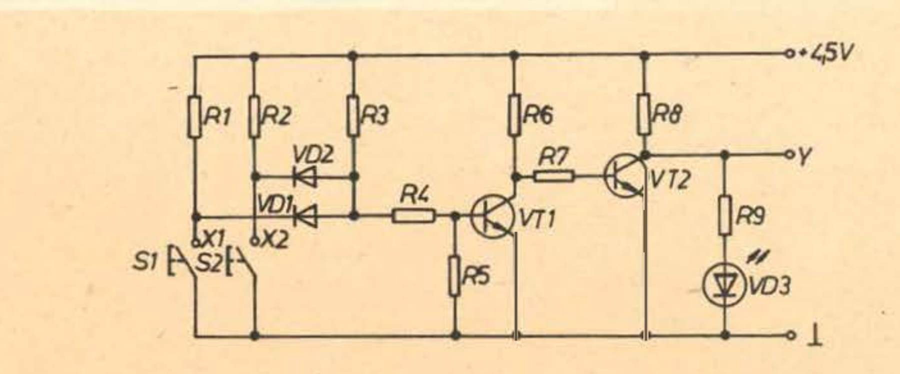


Abb. 3.04-S UND-Gatter in Dioden-Transistor-Logik (DTL)

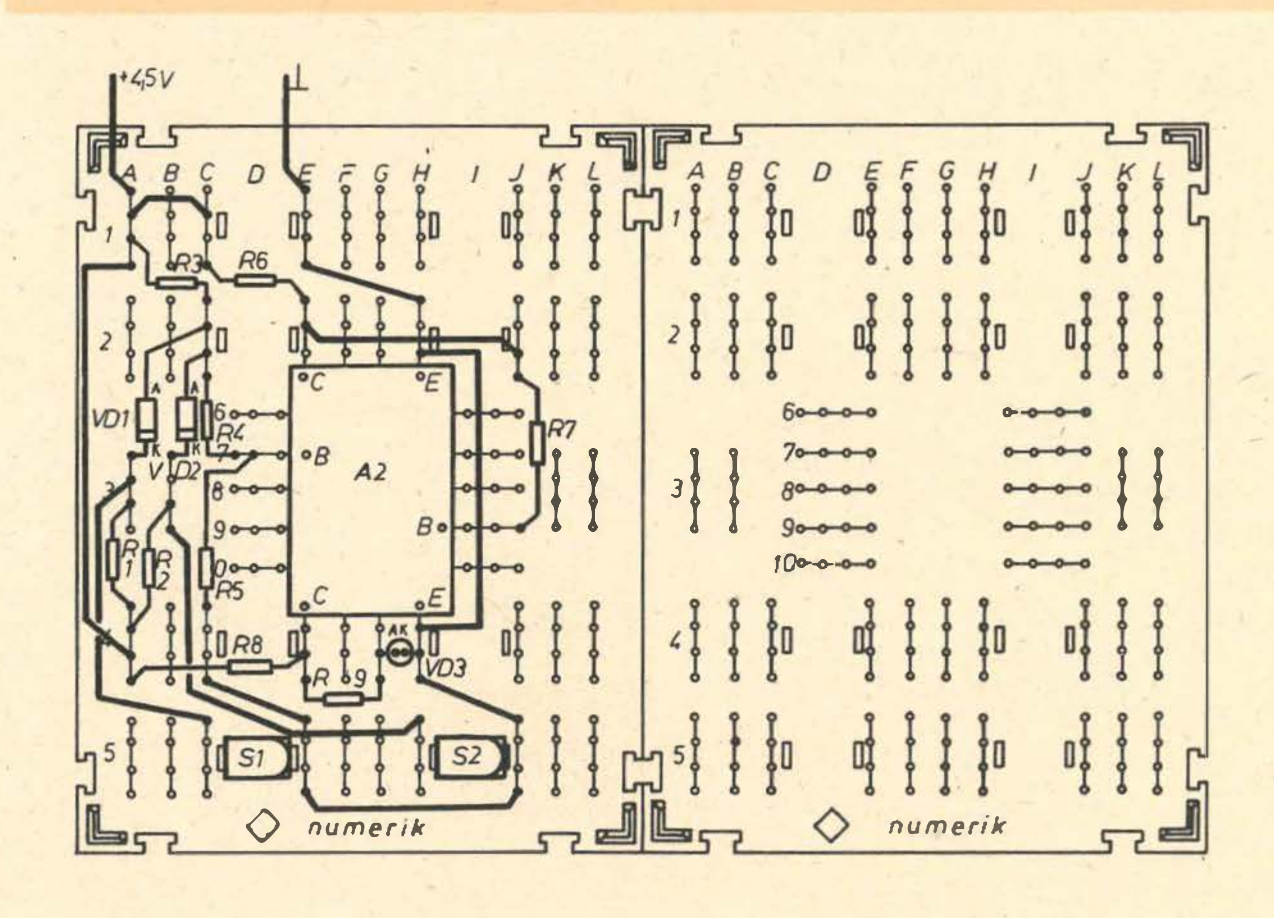


Abb. 3.04-A

Die UND-Verknüpfung der beiden Eingangssignale x_1 und x_2 erfolgt über die Dioden VD1 und VD2. Führt ein Eingang L-Pegel, indem man eine Taste drückt, wird die Basis des Transistors VT1 nicht angesteuert. Sie liegt dann ebenfalls auf L. In den Transistoren VT1 und VT2 erkennen wir die zwei in Reihe geschalteten Negatoren vom vorhergehenden Versuch. Sie erfüllen hier die Funktion einer Pegelverstärkung zur Ansteuerung der LED.

2. Versuch — Abb. 3.05

Eingänge x_1 und x_2:
H-Pegel: Taster gedrückt
L-Pegel: Taster offen
Ausgang y:
H-Pegel: LED leuchtet
L-Pegel: LED leuchtet nicht

Taster	S1, S2	
Schichtwiderstand	R1	22 kΩ
Schichtwiderstand	R2	22 kΩ
Schichtwiderstand	R3	3,3 kΩ
Schichtwiderstand	R4	2,7 kΩ
Schichtwiderstand	R5	10 kΩ
Schichtwiderstand	R6	1,5 kΩ
Schichtwiderstand	R7	510 Ω
Schichtwiderstand	R8	82 Ω
Lichtemitterdiode	VD	VQA 13-1
Transistor	VT1	SC 236 E (A2)
Transistor	VT2	SC 236 E (A2)
Transistor	VT3	SC 307 E (A3)

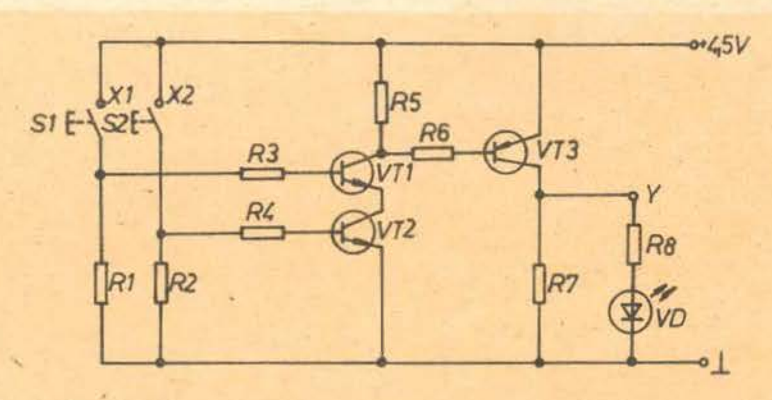


Abb. 3.05-S UND-Gatter in Transistor-Transistorlogik (TTL)

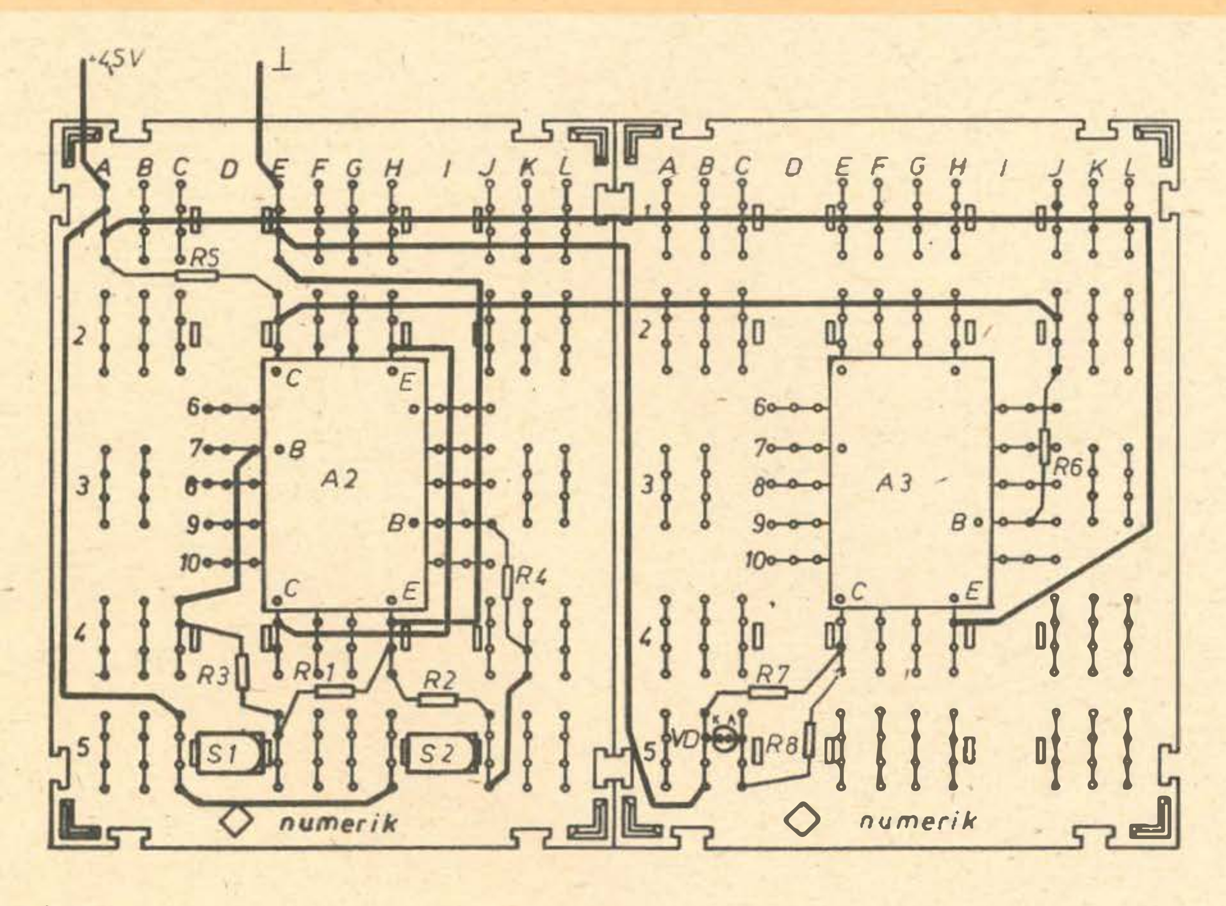
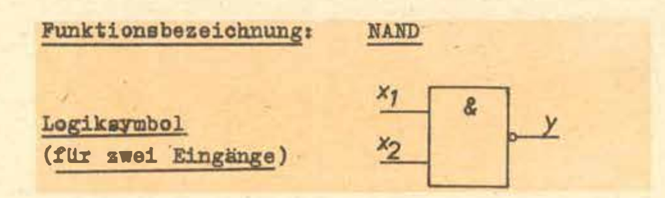


Abb. 3.05-A

Erhalten beide Eingänge L-Pegel (indem die Taster geöffnet bleiben), dann liegt an der Basis der npn-Transistoren VT 1 und VT 2 Masse-Potential an. Die beiden Transistoren sind gesperrt. Der pnp-Transistor VT 3 erhält dann an der Basis über die Widerstände R5 und R6 Plus-Potential und ist ebenfalls gesperrt. Wird eine der Tasten gedrückt, z.B. S1, dann hat Eingang x_1 H-Pegel und Eingang x_2 L-Pegel. Der H-Pegel an x_1 führt zu einem Plus-Potential an der Basis des Transistors VT 1. Transistor VT 1 steuert durch, wird leitend. Da Transistor VT 2 aber nach wie vor gesperrt bleibt, kann sich am Signalausgang y nichts ändern. Das gleiche Ergebnis am Ausgang y liegt an, wenn Eingang x_2 H-Pegel führt und Eingang x_1 L-Pegel. Erst wenn beide Eingänge x_1 und x_2 H-Pegel erhalten und beide npn-Transistoren leitend werden, erhält die Basis des pnp-Transistors VT 3 Minus-Potential, wodurch dieser Transistor auch leitend wird. Der Strom dieses Transistors erzeugt am Widerstand R7 einen Spannungsabfall, den H-Pegel des Ausgangs y, den unsere LED anzeigt.

3.1.3 Das NAND-Gatter

NAND-Gatter haben immer mehrere Eingänge (x_1, x_2, ...x_n) und einen Ausgang y.
Man kann sich das NAND-Gatter vorstellen als die Reihenschaltung eines UND-Gatters und eines Negators.
Das Ausgangssignal des UND-Gatters wird durch den Negator invertiert (umgekehrt).
Bei einem NAND-Gatter tritt am Ausgang nur dann ein L-Pegel auf, wenn alle Eingänge H-Pegel erhalten.



(Der kleine Kreis am Ausgang bedeutet Inversion, Umkehrung des Signalpegels)

Schaltbelegungstabelle:
(für zwei Eingänge)

	x_2	x_1	y
1.	L	L	H
2.	L	H	H
3.	H	L	H
4.	H	H	L

Zustandsgleichung: $y = \overline{x_1 \cdot x_2}$ oder $y = \overline{x_1 x_2}$

Baue nacheinander die drei Schaltungen auf und überprüfe ihre Funktion als NAND-Gatter anhand der Schaltbelegungstabelle!

1. Versuch: Abb. 3.06
Eingänge x_1 und x_2:
H-Pegel: Taster offen
L-Pegel: Taster gedrückt
Ausgang y:
H-Pegel: LED leuchtet
L-Pegel: LED leuchtet nicht

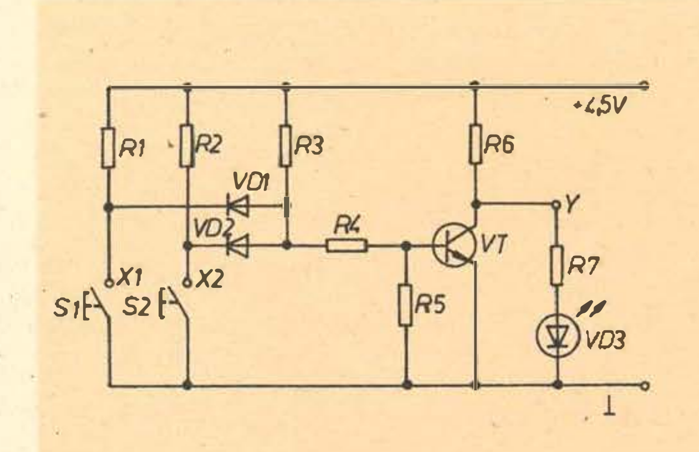
Die UND-Verknüpfung der beiden Eingangssignale x_1 und x_2 erfolgt über die Dioden VD1 und VD2. Liegt ein Eingang auf L-Pegel, erhält die Basis des nachgeschalteten Transistors VT1 keine Spannung, so daß der Kollektor H-Pegel führt (LED leuchtet).

2. Versuch: Abb. 3.07
Eingänge x_1 und x_2:
H-Pegel: Taster offen
L-Pegel: Taster gedrückt
Ausgang y:
H-Pegel: LED leuchtet
L-Pegel: LED leuchtet nicht

Die UND-Verknüpfung erfolgt über die Transistoren VT 1 und VT 2. Die Basisanschlüsse dieser Transistoren liegen über R3 bzw. R4 ständig am Plus-Potential. Ein Kollektorstrom kann aber erst fließen, wenn der Emitteranschluß durch Betätigen des Tasters auf Masse gelegt wird. Der Kollektorstrom von VT 1 bzw. VT 2 steuert die Basis des Transistors VT 3 an, wodurch an dessen Kollektor und damit am Ausgang Y H-Pegel entsteht (die LED VD3 leuchtet).

3. Versuch: Abb. 3.08
Eingänge x_1 und x_2:
H-Pegel: Taster gedrückt
L-Pegel: Taster offen
Ausgang y:
H-Pegel: LED leuchtet
L-Pegel: LED leuchtet nicht

Die LED leuchtet solange, bis beide Transistoren leitend werden. Dann erhält der Ausgang Minus-Potential und die LED verlischt. Zu diesem Zweck müssen beide Eingänge H-Pegel erhalten.



Taster	S1, S2	
Schichtwiderstand	R1	22 kΩ
Schichtwiderstand	R2	22 kΩ
Schichtwiderstand	R3	680 Ω
Schichtwiderstand	R4	1,5 kΩ
Schichtwiderstand	R5	1 kΩ
Schichtwiderstand	R6	120 Ω
Schichtwiderstand	R7	82 Ω
Diode	VD1	SAY 20
Diode	VD2	SAY 20
Lichtemitterdiode	VD3	VQA 13-1
Transistor	VT1	SC 236 E (A2)

Abb. 3.06-S NAND-Gatter in Dioden-Transistorlogik (DTL)

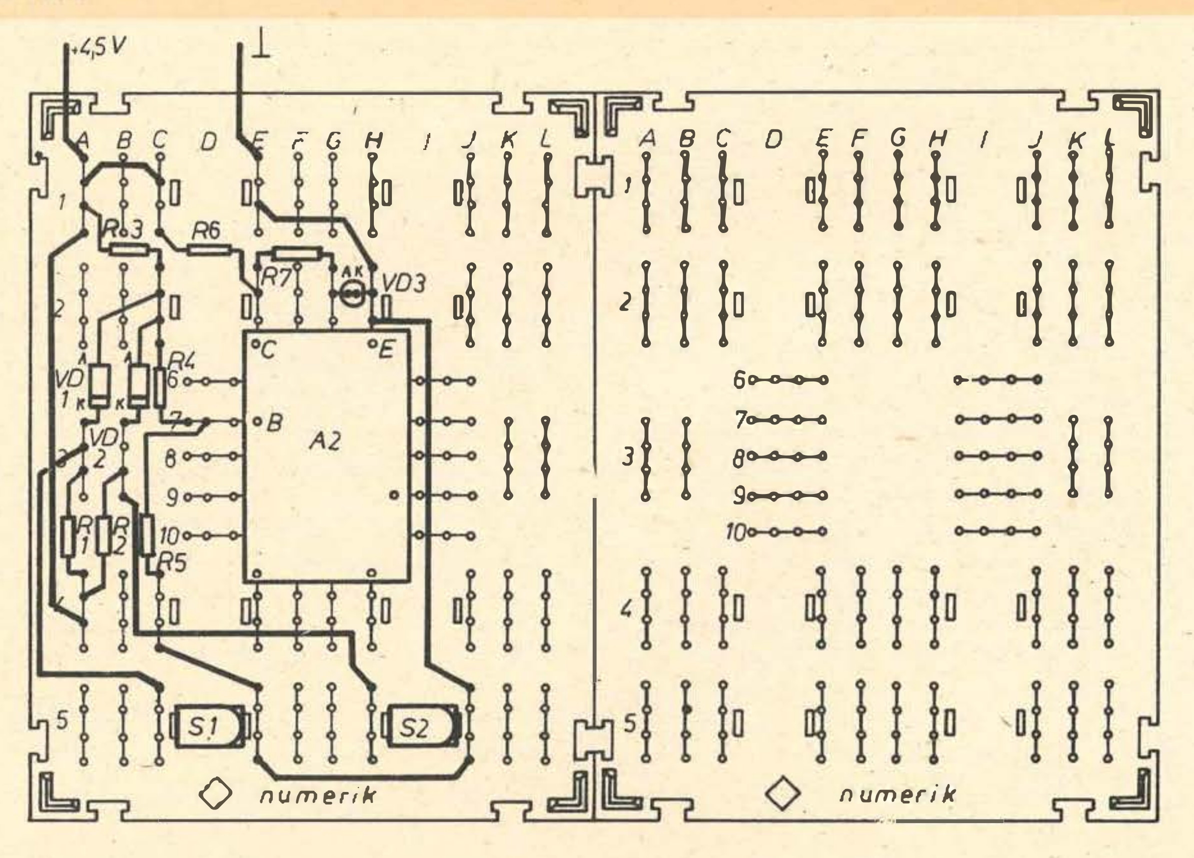
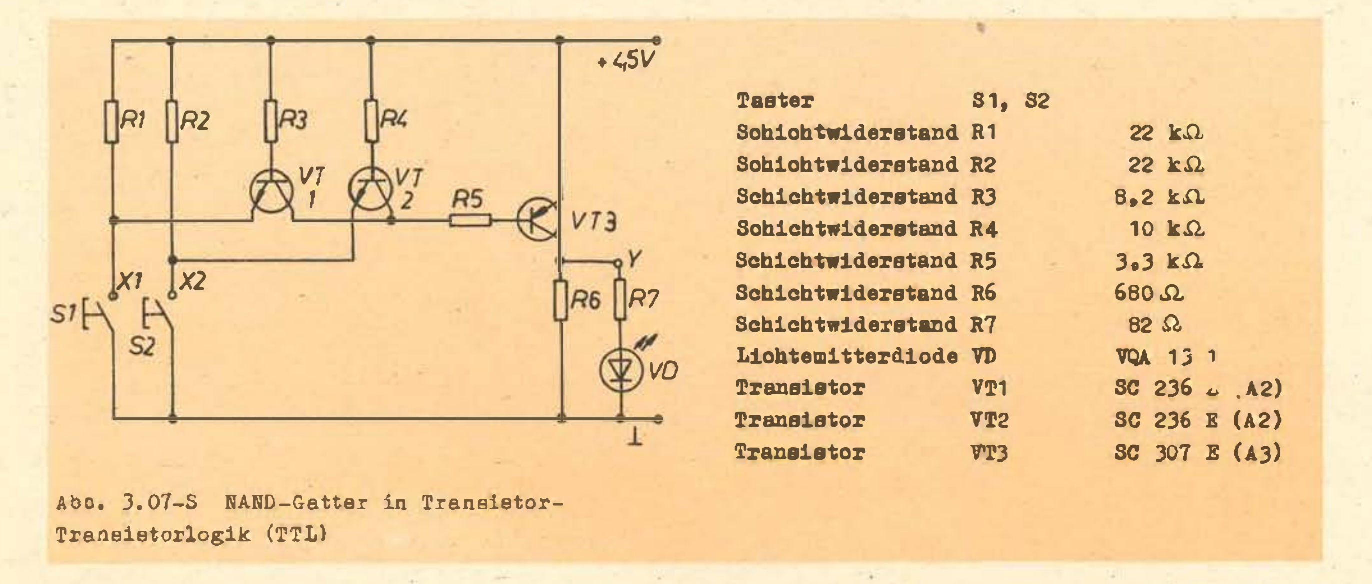


Abb. 3.06-A



Taster	S1, S2	
Schichtwiderstand	R1	22 kΩ
Schichtwiderstand	R2	22 kΩ
Schichtwiderstand	R3	8,2 kΩ
Schichtwiderstand	R4	10 kΩ
Schichtwiderstand	R5	3,3 kΩ
Schichtwiderstand	R6	680 Ω
Schichtwiderstand	R7	82 Ω
Lichtemitterdiode	VD	VQA 13 1
Transistor	VT1	SC 236 [illegible] A2)
Transistor	VT2	SC 236 E (A2)
Transistor	VT3	SC 307 E (A3)

Abb. 3.07-S NAND-Gatter in Transistor-Transistorlogik (TTL)

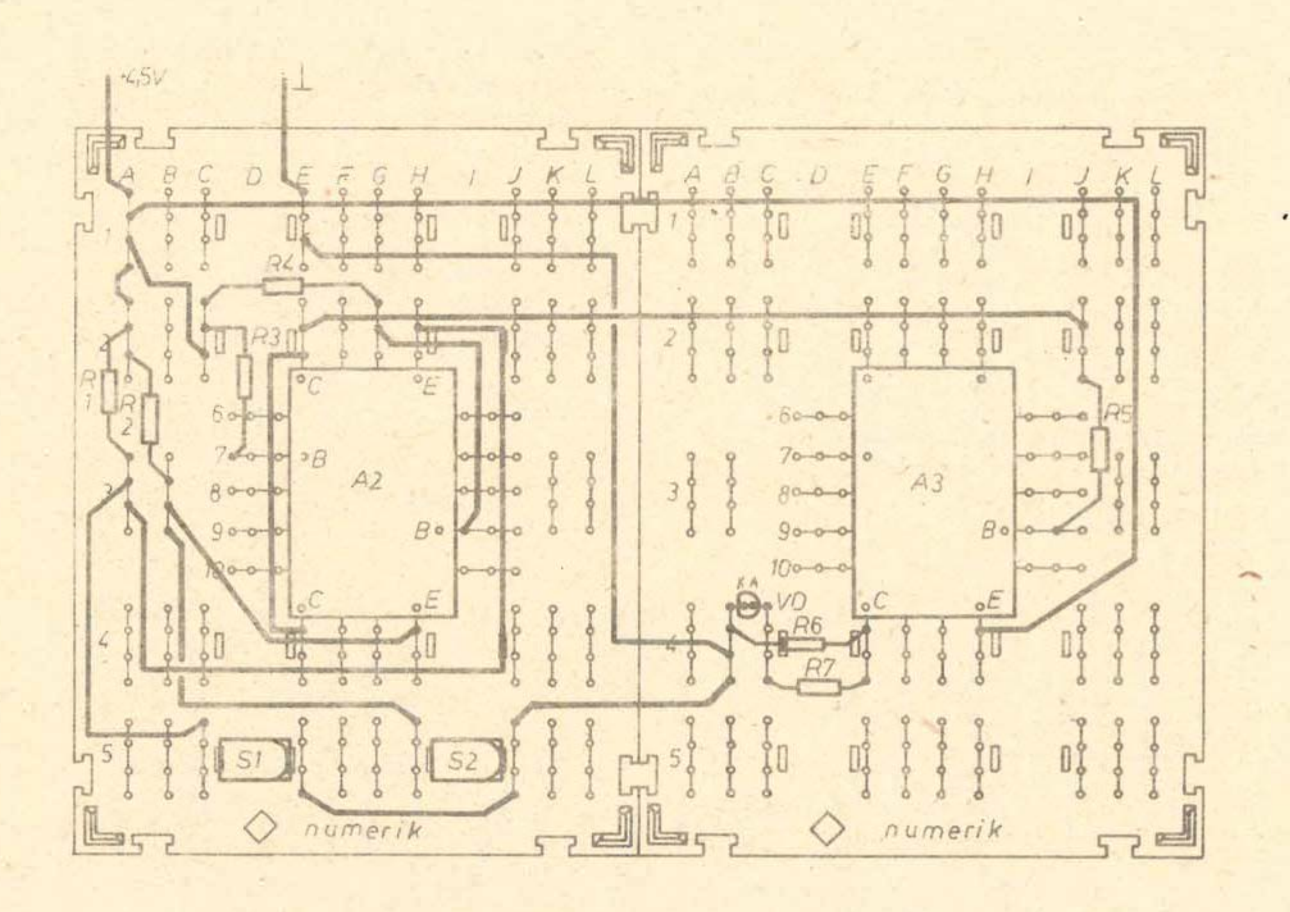
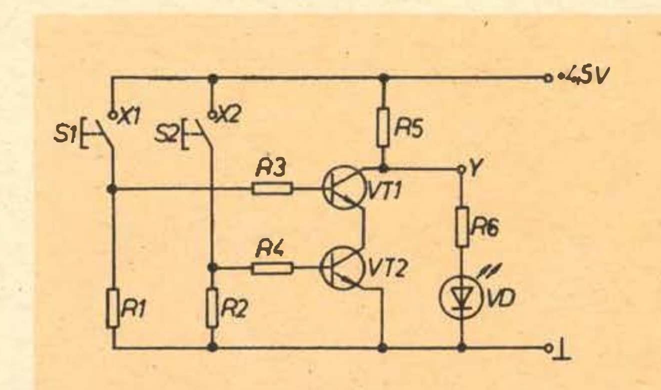

+4,5V
A B C D E F G H I J K L
R4
R3
R1
R2
A2
A3
R5
VD
R6
R7
S1
S2
numerik
numerik

Abb. 3.07-A



Taster	S1, S2	-
Schichtwiderstand	R1	82 kΩ
Schichtwiderstand	R2	100 kΩ
Schichtwiderstand	R3	2,7 kΩ
Schichtwiderstand	R4	3,3 kΩ
Schichtwiderstand	R5	120 Ω
Schichtwiderstand	R6	82 Ω
Lichtemitterdiode	VD	VQA 13-1
Transistor	VT 1	SC 236 E(A2)
Transistor	VT 2	SC 236 E(A2)

Abb. 3.08-S NAND-Gatter mit zwei Transistoren

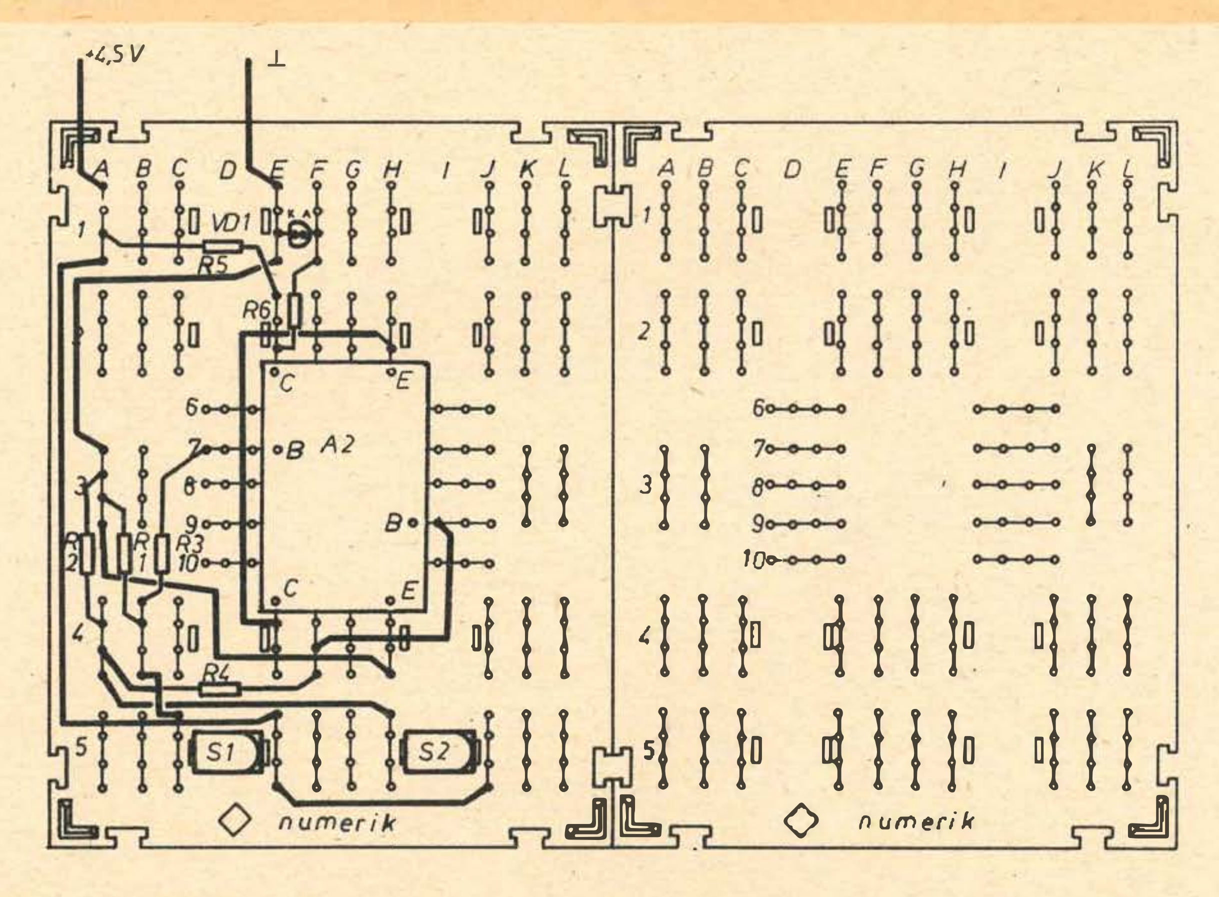


Abb. 3.08-A

3.1.4. Das ODER-Gatter

ODER-Gatter haben immer mehrere Eingänge (x_1, x_2 ... x_n) und einen Ausgang y. Der Ausgang des ODER-Gatters hat dann H-Pegel, wenn an mindestens einem seiner Eingänge H-Pegel liegt

Funktionsbezeichnung: ODER

Logiksymbol:
(für zwei Eingänge)

x_1, x_2 → [1] → y

Schaltbelegungstabelle:
(für zwei Eingänge)

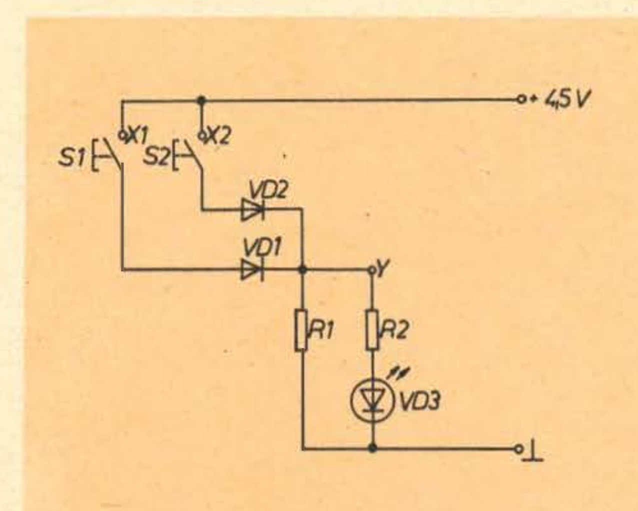
	x_2	x_1	y
1.	L	L	L
2.	L	H	H
3.	H	L	H
4.	H	H	H

Zustandsgleichung: $y = x_1 \vee x_2$

Baue nacheinander die drei Schaltungen auf und überprüfe ihre Funktion als ODER-Gatter anhand der Schaltbelegungstabelle!

1. Versuch: Abb. 3.09

Eingänge x_1 und x_2:
H-Pegel: Taster gedrückt
L-Pegel: Taster offen
Ausgang y:
H-Pegel: LED leuchtet
L-Pegel: LED leuchtet nicht



Taster	S1, S2	
Schichtwiderstand	R1	510 Ω
Schichtwiderstand	R2	82 Ω
Diode	VD1	SAY 20
Diode	VD2	SAY 20
Lichtemitterdiode	VD3	VQA 13-1

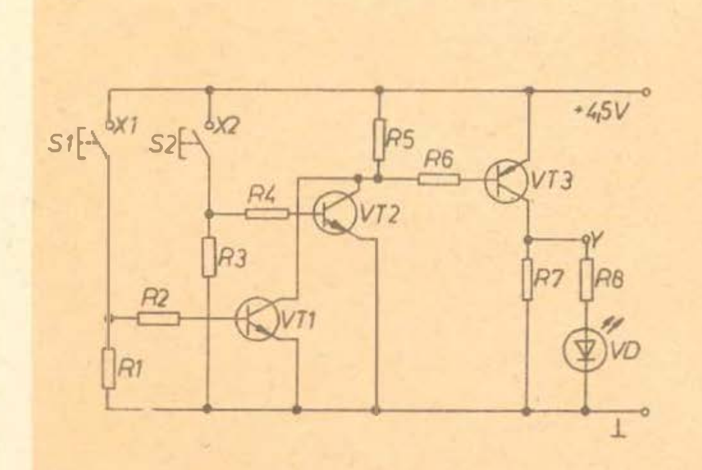
Abb. 3.09-S ODER-Gatter in Diodenlogik

Abb. 3.09-A

Die beiden Dioden entkoppeln die beiden Eingänge x_1 und x_2 voneinander. Es kann kein Strom von x_1 nach x_2 und umgekehrt fließen, wenn ein Eingang H Pegel und der andere Eingang L-Pegel hat, weil immer jeweils eine Diode in Sperrichtung gepolt ist. Wären sie nicht da, dann bestünde zwischen den beiden Eingängen eine leitende Verbindung. Als Folge hätten beide Eingänge immer gemeinsame Pegel.
Der am Widerstand R1 entstehende Spannungsabfall stellt den H-Pegel des Ausgangs y dar.

2. Versuch: Abb. 3.10

Eingänge x_1 und x_2:
H-Pegel: Taster gedrückt
L-Pegel: Taster offen
Ausgang y:
H-Pegel: LED leuchtet
L-Pegel: LED leuchtet nicht



Taster	S1, S2	
Schichtwiderstand	R1	680 kΩ
Schichtwiderstand	R2	3,3 kΩ
Schichtwiderstand	R3	680 kΩ
Schichtwiderstand	R4	2,7 kΩ
Schichtwiderstand	R5	8,2 kΩ
Schichtwiderstand	R6	22 kΩ
Schichtwiderstand	R7	510 Ω
Schichtwiderstand	R8	82 Ω
Lichtemitterdiode	VD	VQA 13-1
Transistor	VT1	SC 236 E (A2)
Transistor	VT2	SC 236 E (A2)
Transistor	VT3	SC 307 E (A3)

Abb. 3.10-S ODER-Gatter in Transistor-Transistorlogik (TTL)

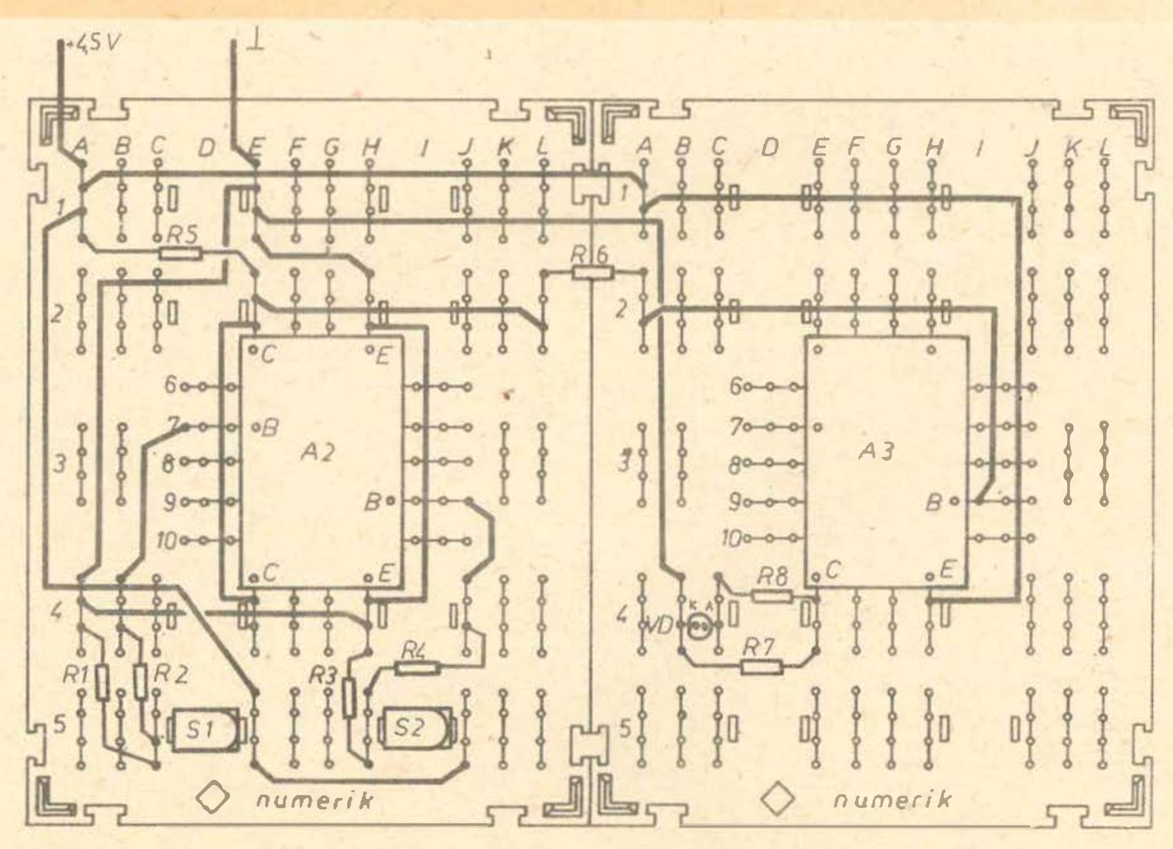


Abb. 3.10-A

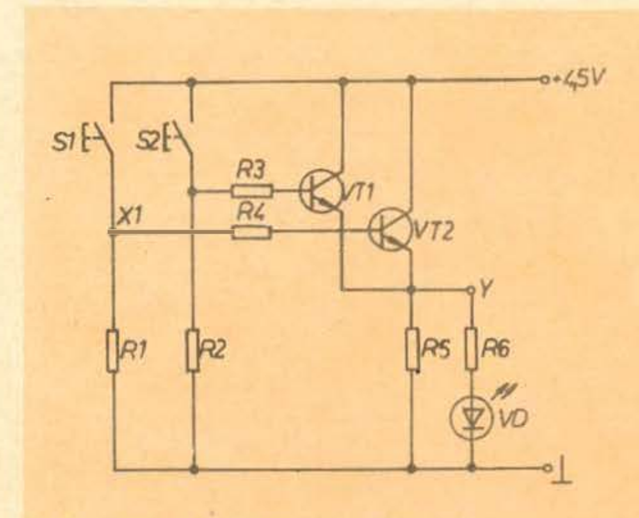
Erhalten die beiden Eingänge L-Pegel, indem die Taster geöffnet bleiben, dann liegt an der Basis der npn-Transistoren VT 1 und VT 2 Minus-Potential an. Die beiden Transistoren sind gesperrt. Der pnp-Transistor VT3 erhält dann an der Basis über die Widerstände R5 und R6 Plus-Potential und ist daher ebenfalls gesperrt. Wird eine der Tasten gedrückt z.B. S1, dann hat Eingang x_1 H-Pegel und Eingang x_2 L-Pegel. Der H-Pegel an x_1 führt zu einem Plus-Potential an der Basis des Transistors VT 1. Transistor VT 1 steuert durch und wird leitend. Dadurch wird die Basis des pnp-Transistors negativ. Der pnp-Transistor VT 3 wird leitend und am Widerstand R7 entsteht der Spannungsabfall, der den H-Pegel des Ausganges y darstellt.

3. Versuch:

Abb. 3.11

Eingänge x_1 und x_2:
H-Pegel: Taster gedrückt
L-Pegel: Taster offen
Ausgang y:
H-Pegel: LED leuchtet
L-Pegel: LED leuchtet nicht

Diesmal liegt der Ausgang y an den Emitteranschlüssen der Transistoren VT1 und VT2. Dieser kann nur H-Pegel annehmen und damit die LED leuchten, wenn einer der beiden Transistoren über seine Basis angesteuert wird. Durch die parallelgeschalteten Kollektor- und Emitteranschlüsse der Transistoren wird die ODER-Verknüpfung der Eingänge x_1 und x_2 realisiert.



Taster	S1, S2	
Schichtwiderstand	R1	22 kΩ
Schichtwiderstand	R2	22 kΩ
Schichtwiderstand	R3	2,7 kΩ
Schichtwiderstand	R4	3,3 kΩ
Schichtwiderstand	R5	680 Ω
Schichtwiderstand	R6	82 Ω
Lichtemitterdiode	VD	VQA 13-1
Transistor	VT 1	SC 236 E (A2)
Transistor	VT 2	SC 236 E (A2)

Abb. 3.11-S ODER-Gatter mit geringem Aufwand

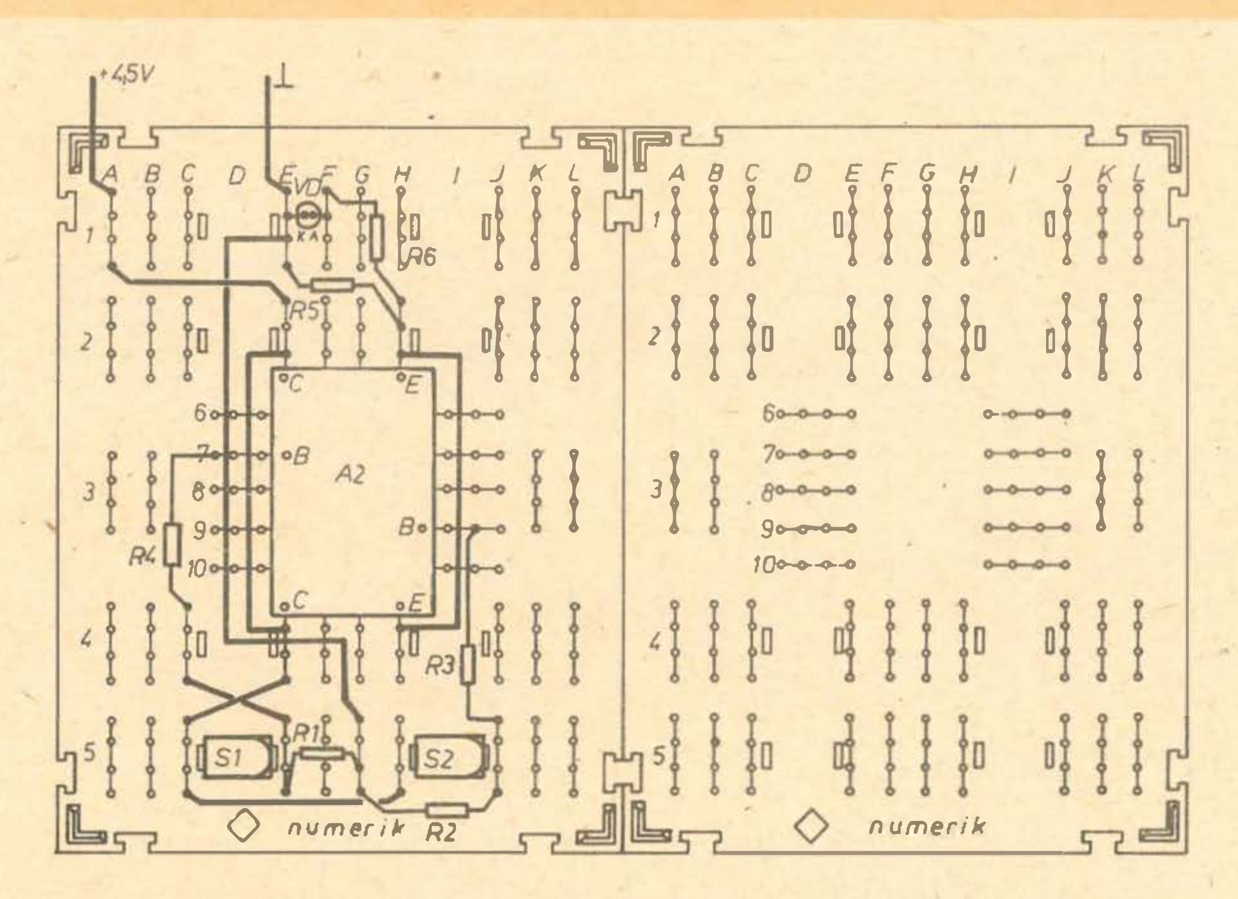


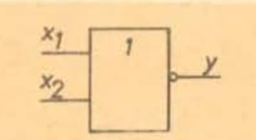
Abb. 3.11-A

3.1.5. Das NOR-Gatter

NOR-Gatter haben immer mehrere Eingänge (x_1, x_2, ... x_n) und einen Ausgang y. Das NOR-Gatter stellt die Reihenschaltung eines ODER-Gatters und eines Negators dar. Bei einem NOR-Gatter tritt am Ausgang nur dann ein H-Pegel auf, wenn alle Eingänge L-Pegel erhalten.

Funktionsbezeichnung: NOR

Logiksymbol:
(für zwei Eingänge)



(Der kleine Kreis am Ausgang bedeutet Inversion, Umkehrung des Signalpegels)

Schaltbelegungstabelle
(für zwei Eingänge)

	x_2	x_1	y
1.	L	L	H
2.	L	H	L
3.	H	L	L
4.	H	H	L

Zustandsgleichung: $y = \overline{x_1 \vee x_2}$

Baue nacheinander die drei Schaltungen auf und überprüfe ihre Funktion als NOR-Gatter anhand der Schaltbelegungstabelle!
Wir gehen sicher richtig in der Annahme, daß es nicht mehr nötig sein wird, die Funktion der Schaltungen zu erklären.
Inzwischen werden die Kenntnisse ausreichen, um den "inneren Wirkungsmechanismus" auch ohne unsere Hilfe zu durchschauen. Versuche auf alle Fälle, darüber Klarheit zu erlangen denn wir werden die Kenntnisse bei den folgenden Versuchen noch gebrauchen können.

1. Versuch: Abb. 3.12
Eingänge x_1 und x_2:
H-Pegel: Taster gedrückt
L-Pegel: Taster offen
Ausgang x:
H-Pegel: LED leuchtet
L-Pegel: LED leuchtet nicht

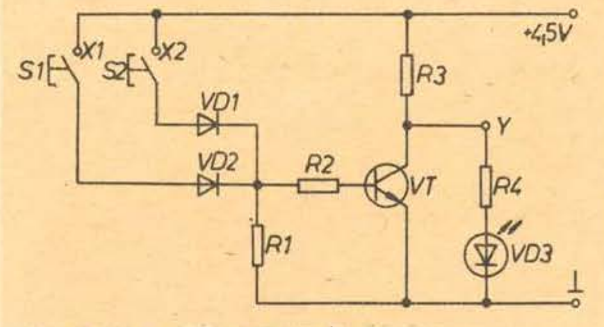


Abb. 3.12-S NOR-Gatter in Dioden-Transistorlogik (DTL)

Taster	S1, S2	
Schichtwiderstand	R1	22 kΩ
Schichtwiderstand	R2	3,3 kΩ
Schichtwiderstand	R3	120 Ω
Schichtwiderstand	R4	82 Ω
Diode	VD1	SAY 20
Diode	VD2	SAY 20
Lichtemitterdiode	VD3	VQA 13-1
Transistor	VT	SC 236 E (A2)

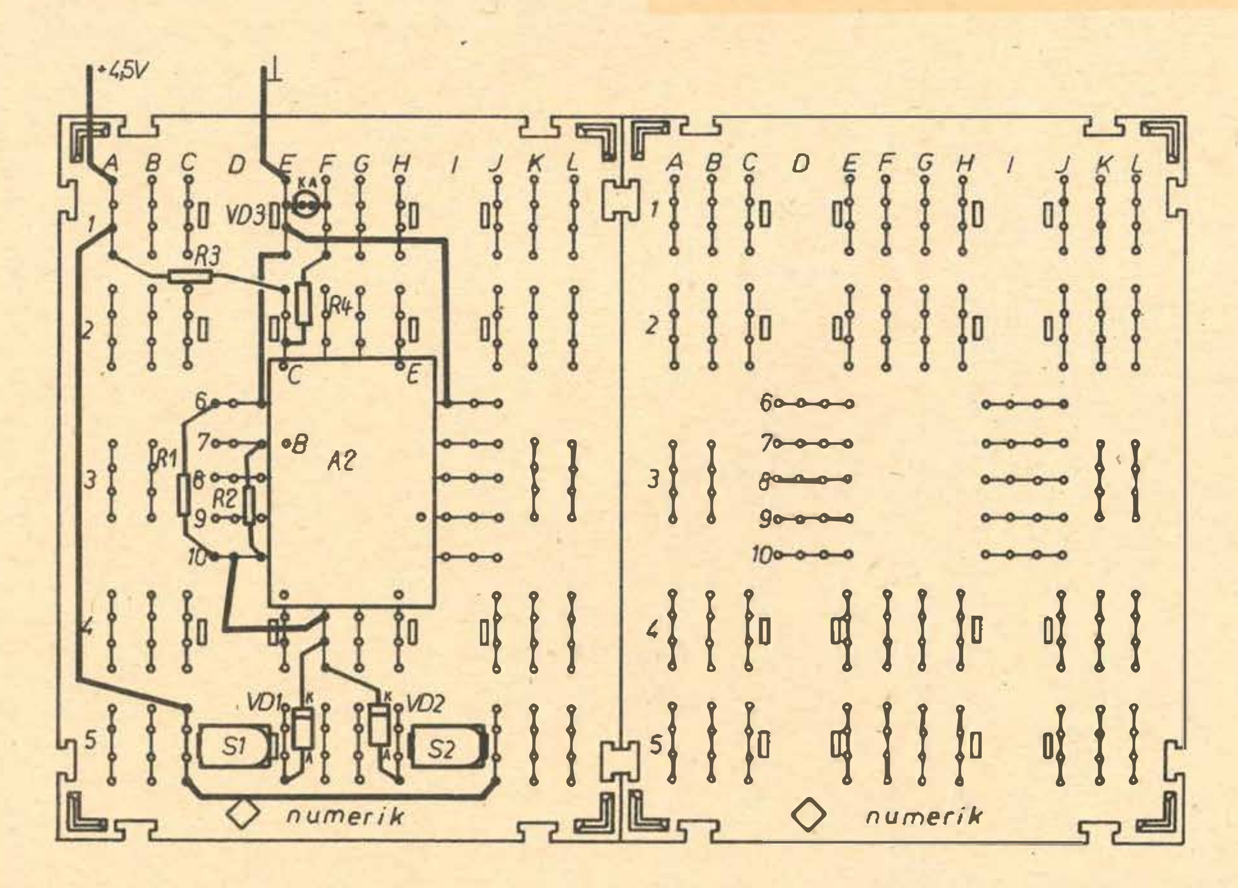
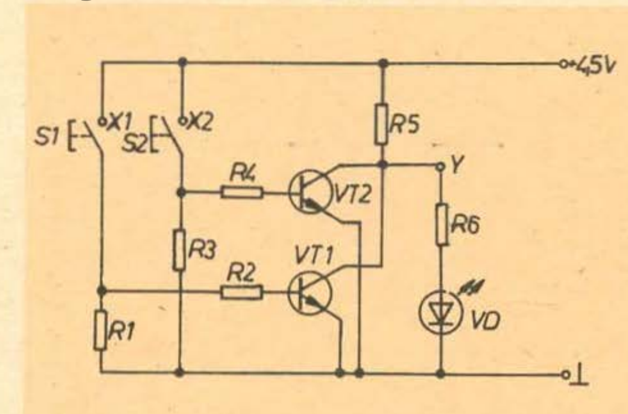


Abb. 3.12-A

2. Versuch:

Abb. 3.13

Eingänge x_1 und x_2:
H-Pegel: Taster gedrückt
L-Pegel: Taster offen
Ausgang y:
H-Pegel: LED leuchtet
L-Pegel: LED leuchtet nicht



Taster	S1, S2	
Schichtwiderstand	R1	22 kΩ
Schichtwiderstand	R2	3,3 kΩ
Schichtwiderstand	R3	22 kΩ
Schichtwiderstand	R4	2,7 kΩ
Schichtwiderstand	R5	120 Ω
Schichtwiderstand	R6	82 Ω
Lichtemitterdiode	VD	VQA 13-1
Transistor	VT1	SC 236 E (A2)
Transistor	VT2	SC 236 E (A2)

Abb. 3.13-S NOR-Gatter mit zwei Transistoren

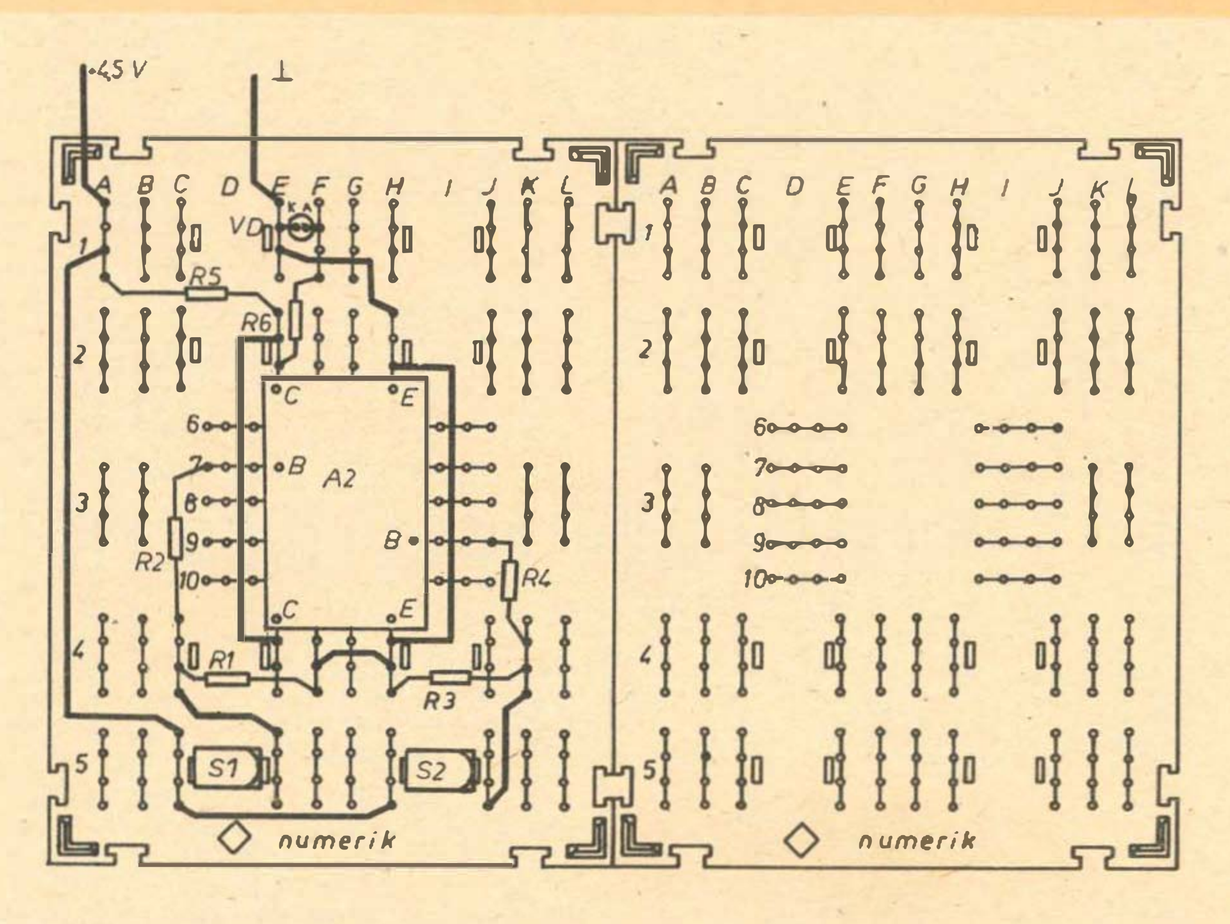
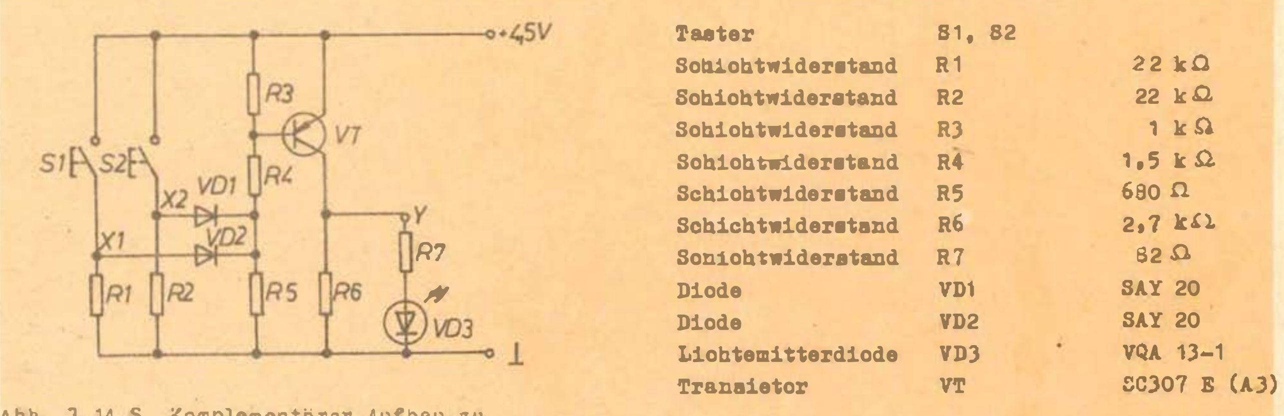


Abb. 3.13-A

3. Versuch: Abb. 3.14

Diese Schaltung stellt den komplementären Aufbau zu Abb. 3.12-S dar.



Taster	S1, S2	
Schichtwiderstand	R1	22 kΩ
Schichtwiderstand	R2	22 kΩ
Schichtwiderstand	R3	1 kΩ
Schichtwiderstand	R4	1,5 kΩ
Schichtwiderstand	R5	680 Ω
Schichtwiderstand	R6	2,7 kΩ
Schichtwiderstand	R7	82 Ω
Diode	VD1	SAY 20
Diode	VD2	SAY 20
Lichtemitterdiode	VD3	VQA 13-1
Transistor	VT	SC307 E (A3)

Abb. 3.14-S Komplementärer Aufbau zu Abb. 3.12

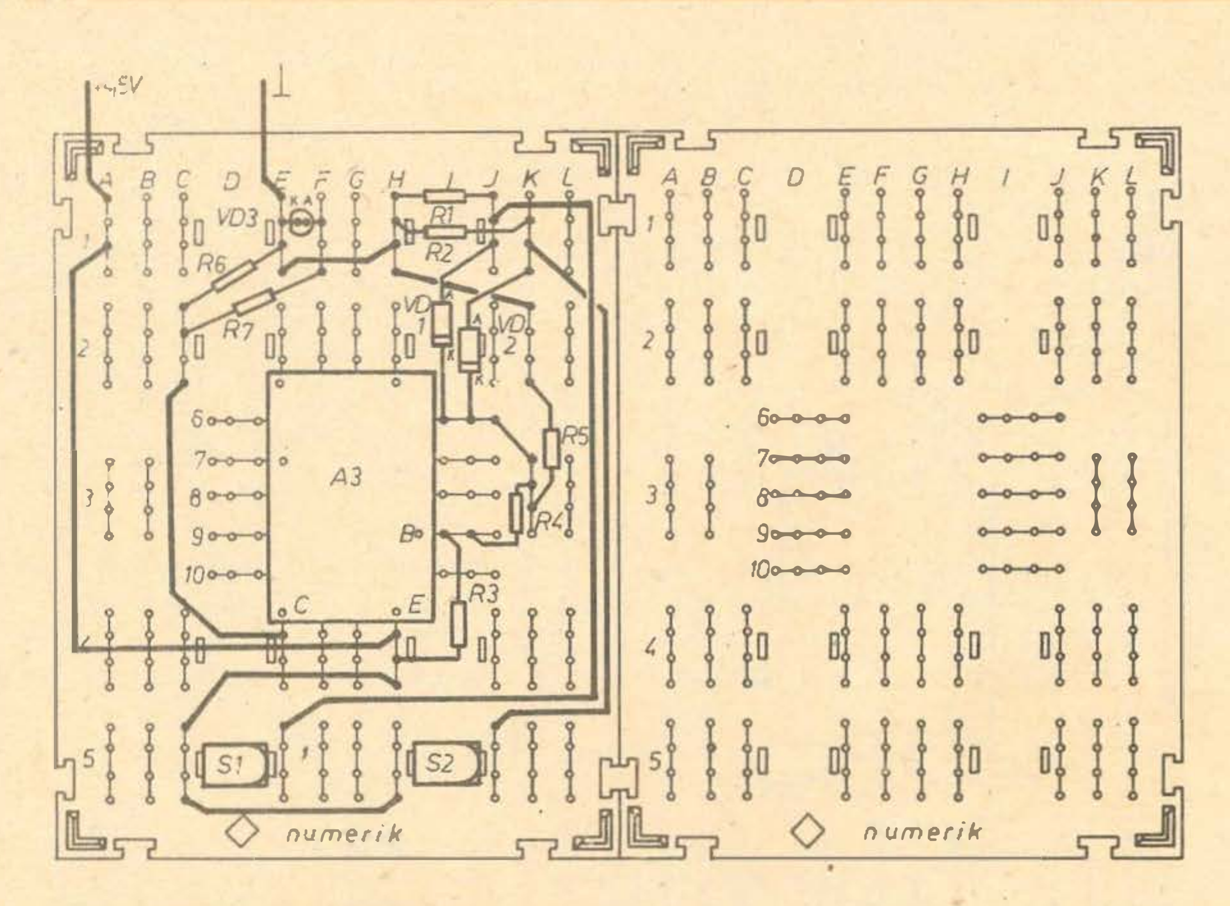


Abb. 3.14-A

3.2. Die Verknüpfung zweier Grundgatter

Die in den vorhergehenden Abschnitten beschriebenen Grundgatter können zusammengeschaltet, verknüpft, werden. Die daraus entstehenden Schaltungen könnten Teile einer komplexen Steuerung sein, die näher untersucht werden sollen.
In den folgenden zwei Beispielen wird dargestellt, wie zwei Grundgatter zu einer komplexeren Schaltung zusammengeschaltet werden können.
Die Funktionsweise ist aus der jeweiligen Beschreibung der Grundgatter abzuleiten. An den Eingängen werden alle auftretenden Pegelbelegungen angelegt und die Reaktion des Ausganges mit der Schaltbelegungstabelle verglichen. Wir tun dies, indem wir die Eingänge der Schaltung (x_1, x_2, x_3) mittels Drahtbrücken an +4,5 V (H-Pegel) oder Masse (L-Pegel) legen.

1. Versuch Abb. 3.16

Die Zus mmenschaltung eines ODER-Gatters mit einem NAND-Gatter

- logische Schaltung:

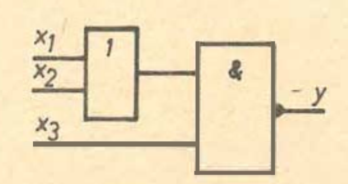


Abb. 3.15
Logikplan der Zusammenschaltung eines ODER-mit einem NAND-Gatter

- Schaltbelegungstabelle:

x_3	x_2	x_1	y
L	L	L	H
L	L	H	H
L	H	L	H
L	H	H	H
H	L	L	H
H	L	H	L
H	H	L	L
H	H	H	L

- Zustandsgleichung:



$y = \overline{(x_1 \vee x_2)} \cdot x_3$ oder $y = \overline{(x_1 \vee x_2)\, x_3}$

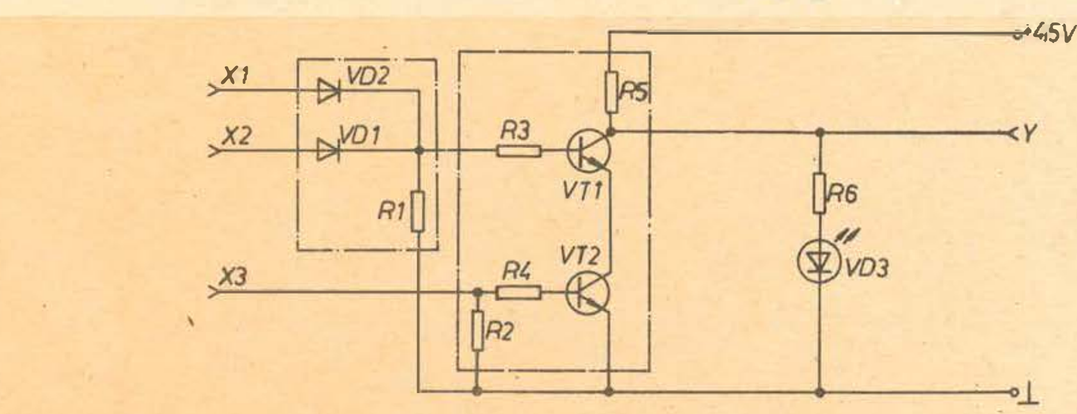


Abb. 3.16-S Stromlaufplan zu Abb. 3.15

Bauelement		Wert
Schichtwiderstand	R1	82 kΩ
Schichtwiderstand	R2	100 kΩ
Schichtwiderstand	R3	2,7 kΩ
Schichtwiderstand	R4	3,3 kΩ
Schichtwiderstand	R5	120 Ω
Schichtwiderstand	R6	82 Ω
Diode	VD1	SAY 20
Diode	VD2	SAY 20
Lichtemitterdiode	VD3	VQA 13-1
Transistor	VT1	SC 236 E (A2)
Transistor	VT2	SC 236 E (A2)

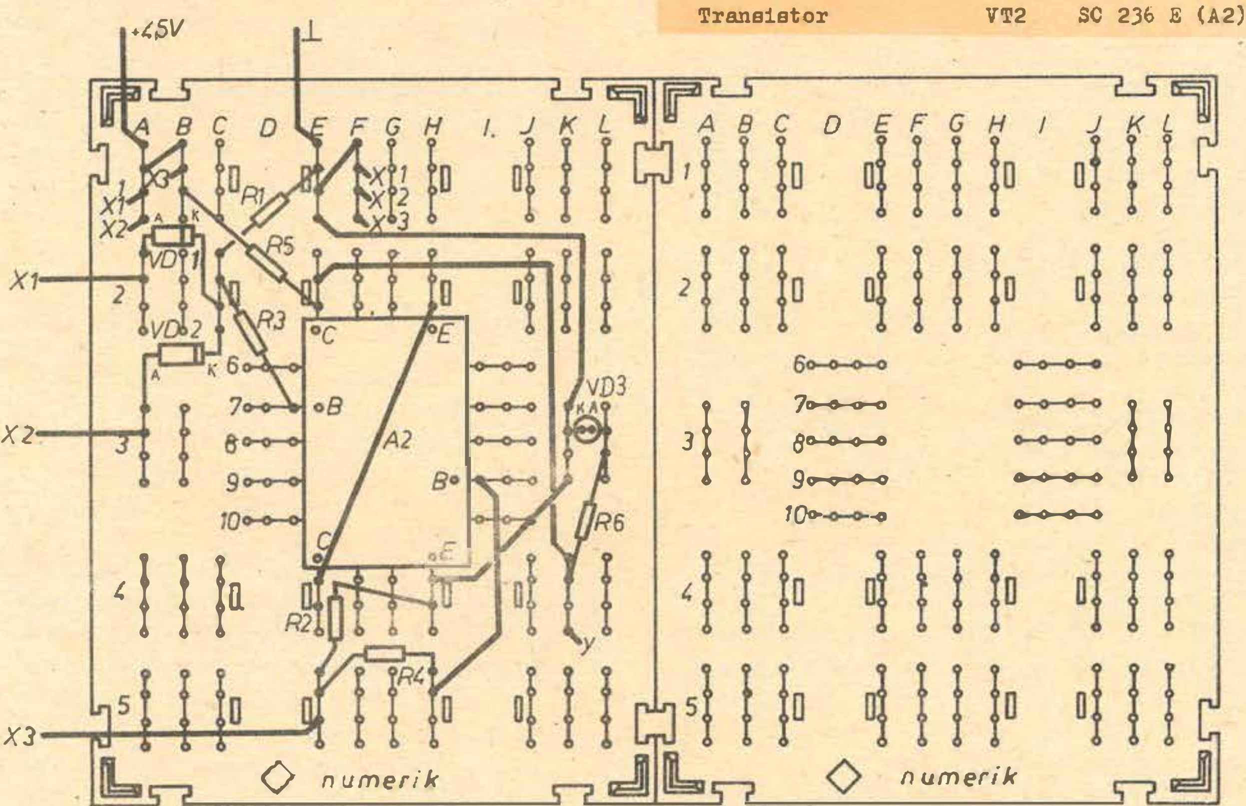


Abb. 3.16-A

2. Versuch Abb. 3.18

Zusammenschaltung e nes NOR-Gatters mit einem UND-Gatter

- logische Schaltung:

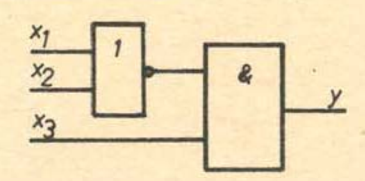


Abb. 3.17
Logikplan der Zusammenschaltung eines NOR- mit einem UND-Gatter

- Schaltbelegungstabelle:

x_3	x_2	x_1	y
L	L	L	L
L	L	H	L
L	H	L	L
L	H	H	L
H	L	L	H
H	L	H	L
H	H	L	L
H	H	H	L

- Zustandsgleichung:

$y = \overline{(x_1 \vee x_2)} \cdot x_3$ oder $y = \overline{(x_1 \vee x_2)}\, x_3$

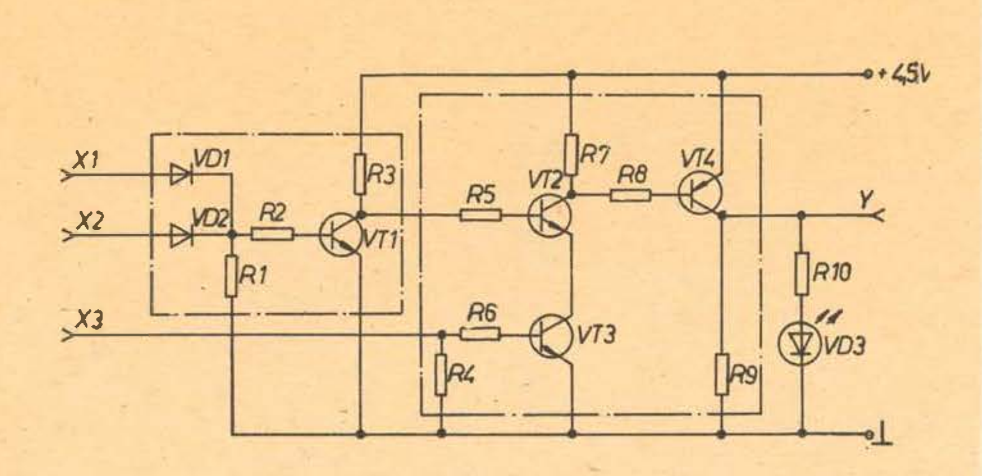


Abb. 3.18-S Stromlaufplan zu Abb. 3.17

Schichtwiderstand	R1	22 kΩ
Schichtwiderstand	R2	3,3 kΩ
Schichtwiderstand	R3	120Ω
Schichtwiderstand	R4	82 kΩ
Schichtwiderstand	R5	8,2 kΩ
Schichtwiderstand	R6	2,7 kΩ
Schichtwiderstand	R7	22 kΩ
Schichtwiderstand	R8	1,5 kΩ
Schichtwiderstand	R9	510 Ω
Schichtwiderstand	R10	82Ω
Diode	VD1	SAY 20
Diode	VD2	SAY 20
Lichtemitterdiode	VD3	VQA 13-1
Transistor	VT1	SC 236 E (A2)
Transistor	VT2	SC 236 E (A2)
Transistor	VT3	SC 236 E (A3)
Transistor	VT4	SC 307 E (A3)

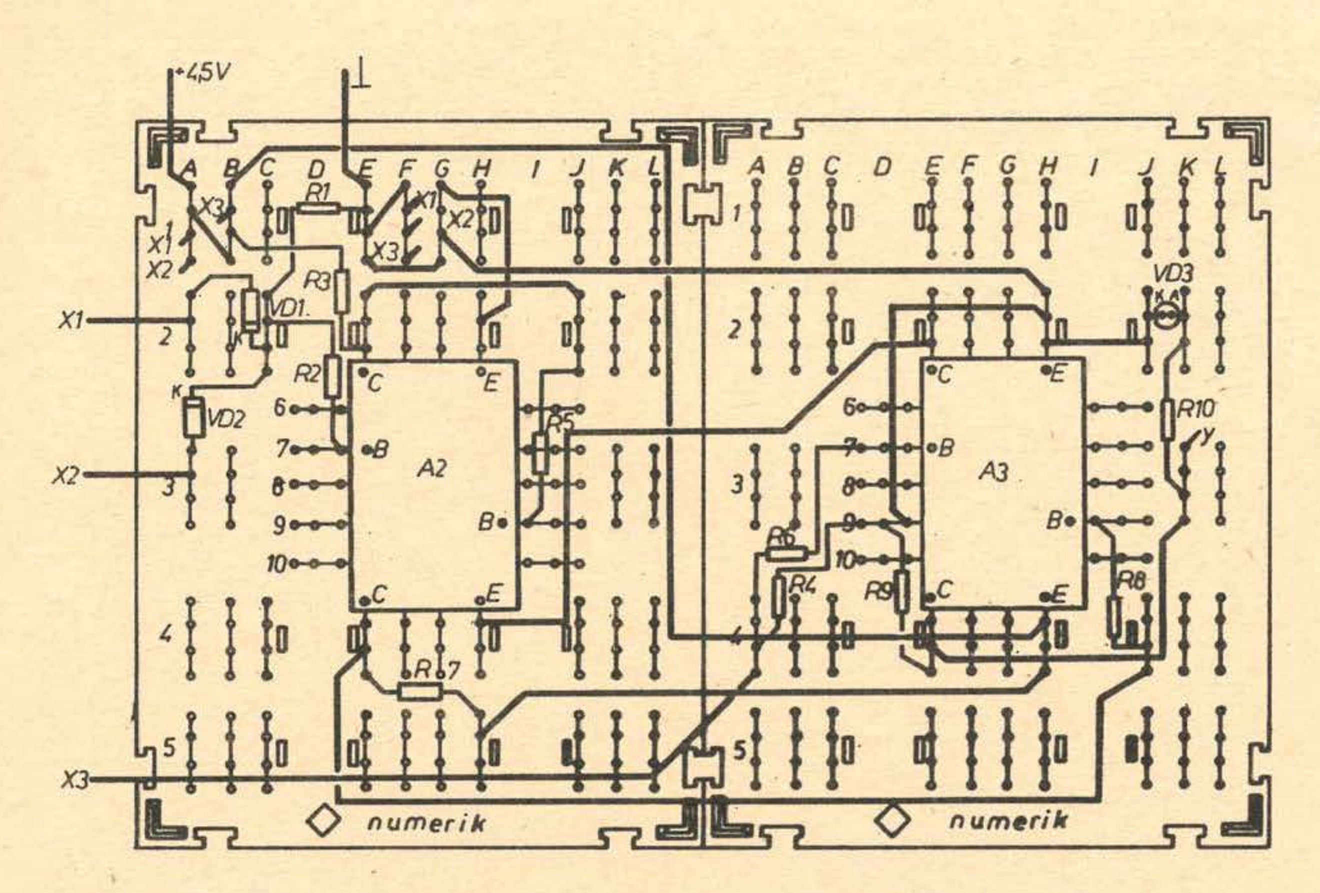


Abb. 3.18-A

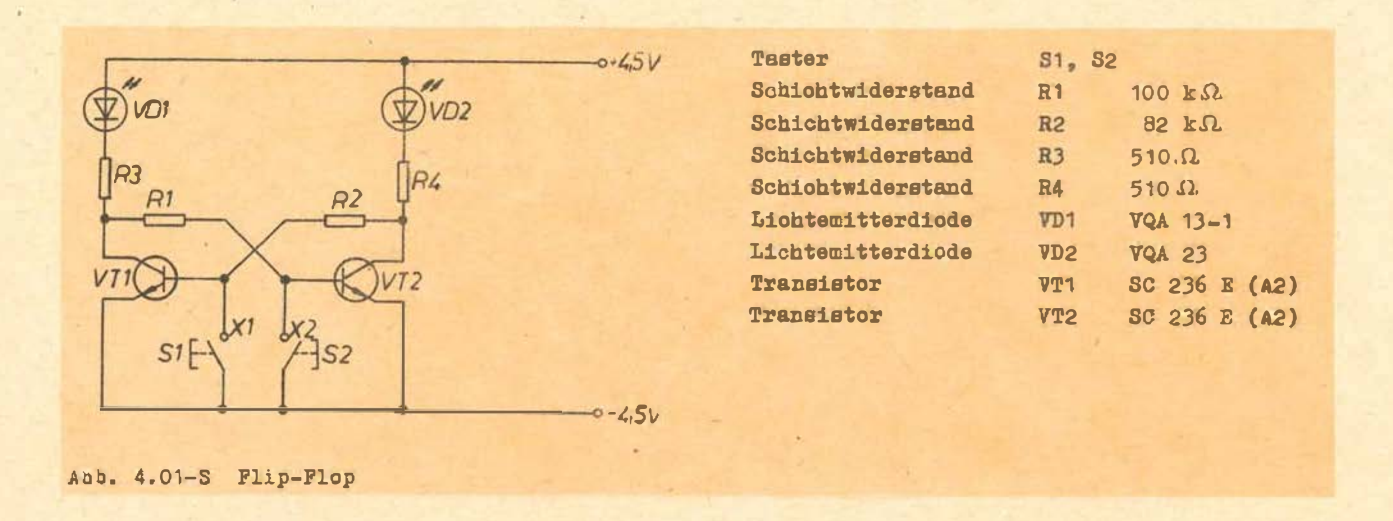
4. Kippschaltungen

4.1. Das Flip-Flop (bistabile Kippstufe)

Die im vorangegangenen Abschnitt dargestellten Grundschaltungen der Digitaltechnik NEGATOR, UND, NAND, ODER und NOR sind kombinatorische Schaltungen, speicherfreie Schaltungen, Schaltungen ohne "Erinnerungsvermögen".
Die in diesem Abschnitt dargestellten Kippschaltungen werden als sequentielle Schaltungen bezeichnet. Im Gegensatz zu kombinatorischen Schaltungen sind sequentielle Schaltungen solche mit "Erinnerungsvermögen".
Sie werden zur Speicherung und Zeitverzögerung digitaler Signale und zur Impulserzeugung verwendet.
Zu den Kippschaltungen gehören:
- die bistabile Kippstufe (Flip-Flop),
- die monostabile Kippstufe (Mono-Flop),
- der astabile Multivibrator,
- der Schmitt-Trigger.

Im folgenden wird dargestellt, wie diese Schaltungen mit den diskreten Bauelementen Transistor, Widerstand, Kondensator, ... aufgebaut werden können und ihre Funktion beschrieben.
Wir bauen sie auf und überprüfen ihre Funktion. Versuche die Wirkungsweise der Schaltungen zu verstehen. Wende dabei die bisher erarbeiteten Kenntnisse an und erweitere sie in den folgenden Versuchen.

Das Flip-Flop ist eine bistabile Kippstufe mit zwei stabilen Zuständen.
Durch Eingangssignale kann jeweils ein stabiler Zustand eingestellt werden. Das Flip-Flop funktioniert wie ein elektronischer Umschalter.
Flip-Flop sind neben Kombinationsschaltungen, die auch Gatter genannt werden, die wichtigsten Grundelemente digitaler Schaltungen. In der digitalen Schaltungstechnik sind sie die Grundbausteine von Speichern, Zählern, Schieberegistern und Frequenzteilern.
Baue folgende Schaltung auf und überprüfe ihre Funktion auf Flip-Flop-Wirkung!
Nach Anlegen der Betriebsspannung stellt sich einer der beiden möglichen Zustände ein. Entweder leuchtet LED VD1 oder LED VD2.
Wird nun Taster S1 gedrückt und damit Eingangssignal x_1 eingegeben, wird die Spannung zwischen Basis und Emitter des Transistors VT1 0 Volt. Der Transistor sperrt und LED VD1 wird dunkel. Transistor VT2 erhält jetzt über den Widerstand R1 an der Basis positives Potential, wodurch er leitend wird. Als Folge leuchtet LED VD 2. Da der Transistor VT2 nun leitend ist, beträgt sein Spannungsabfall zwischen Kollektor und Emitter nahe 0 Volt. Die Basis des Transistors VT1 liegt demzufolge an Minus, wodurch der Schaltzustand erhalten



Taster	S1, S2	
Schichtwiderstand	R1	100 kΩ
Schichtwiderstand	R2	82 kΩ
Schichtwiderstand	R3	510 Ω
Schichtwiderstand	R4	510 Ω
Lichtemitterdiode	VD1	VQA 13-1
Lichtemitterdiode	VD2	VQA 23
Transistor	VT1	SC 236 E (A2)
Transistor	VT2	SC 236 E (A2)

Abb. 4.01-S Flip-Flop

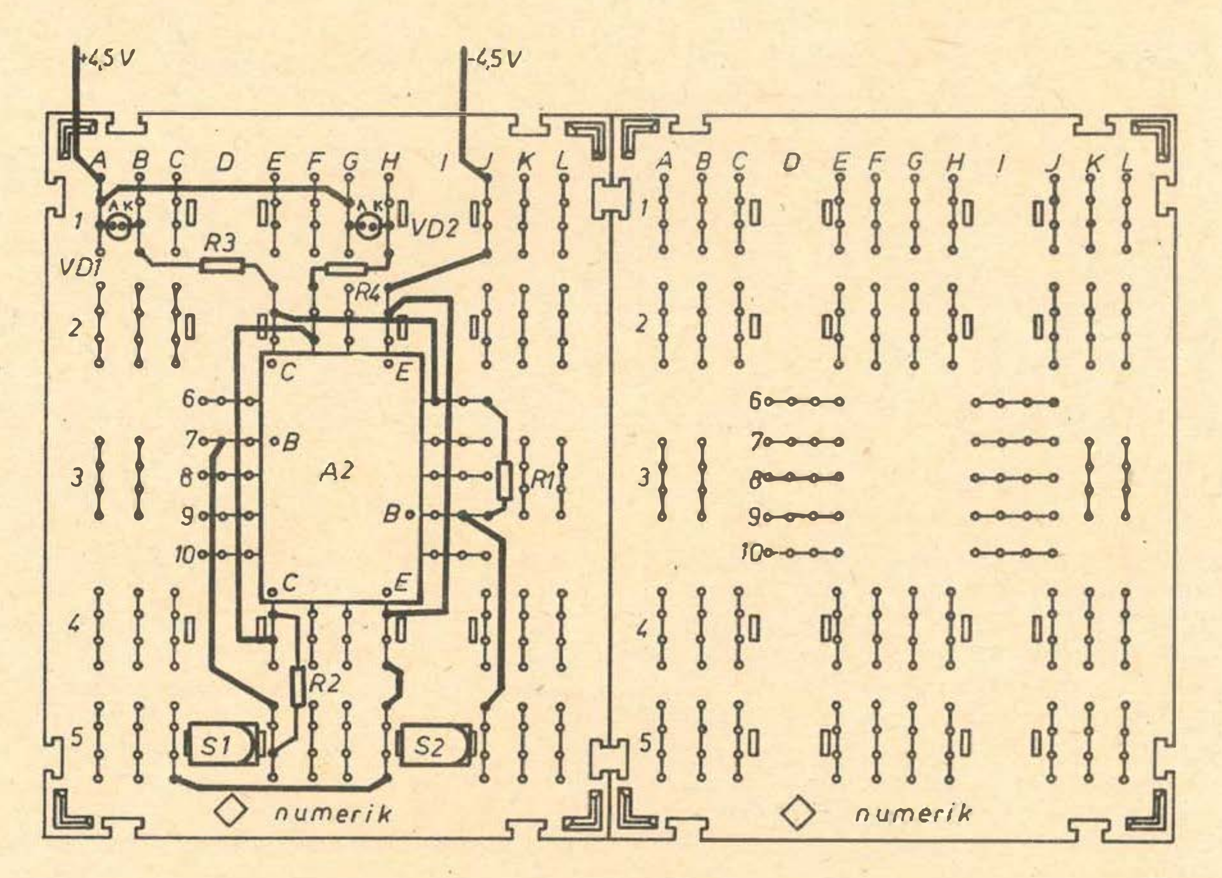


Abb. 4.01-A

bleibt, auch wenn Taster S1 wieder geöffnet wird und damit das Eingangssignal x_1 verschwindet.
Jetzt wird Taster S2 gedrückt und damit das Eingangssignal x_2 eingegeben. Als Folge sperrt Transistor VT2 und LED VD2 verlischt. Transistor VT1 erhält jetzt über den Widerstand R2 positives Potential und kann leiten. LED VD1 leuchtet. Auch dieser Zustand bleibt erhalten, wenn Taster S2 geöffnet wird und das Eingangssignal x_2 verschwindet.

Merke:

- Das Flip-Flop ist eine bistabile Kippschaltung, die durch die Eingangssignale x_1 und x_2 entweder in den einen oder anderen stabilen Zustand (H oder L) geschaltet werden kann.
- Das Flip-Flop funktioniert wie ein elektronischer Umschalter.
- Das Umschalten bzw. Umkippen der Zustände geschieht durch Eingangssignale x_1 und x_2 wie folgt:
  - Eingangssignal x_1 schaltet das Flip-Flop in den einen stabilen Zustand. Der Zustand bleibt auch nach Verschwinden des Eingangssignals erhalten.
  - Eingangssignal x_2 schaltet das Flip-Flop

in den anderen stabilen Zustand. Der Zustand bleibt auch nach Verschwinden des Eingangssignals erhalten.

- Wird kein Eingangssignal eingegeben, dann bleibt der bis dahin bestehende Zustand erhalten.
- Werden beide Eingangssignale zugleich eingegeben, dann weist die Schaltung kein Flip-Flopverhalten auf, da die Zustände der beiden Transistoren voneinander unabhängig sind. Beide Kollektoren führen H-Pegel. Der Zustand nach Beendigung der Eingabe ist unbestimmt.

4.2. Das Mono-Flop (monostabile Kippstufe)

Das Mono-Flop hat einen stabilen (Ruhe-) Zustand und einen Arbeitszustand. Nach Auslösung des Arbeitszustandes kehrt es immer wieder in den stabilen Zustand zurück, aber mit Zeitverzögerung.
Die Umschaltung vom stabilen Zustand in den Arbeitszustand geschieht durch eine Eingangsspannung, die nur kurzzeitig als Impuls einzuwirken braucht. Die Rückschaltung erfolgt automatisch, wobei die Zeitverzögerung durch ein R-C-Glied erreicht wird.
Maßgebliche Größe für die Zeitverzögerung ist die Zeitkonstante τ der R-C-Glieder.

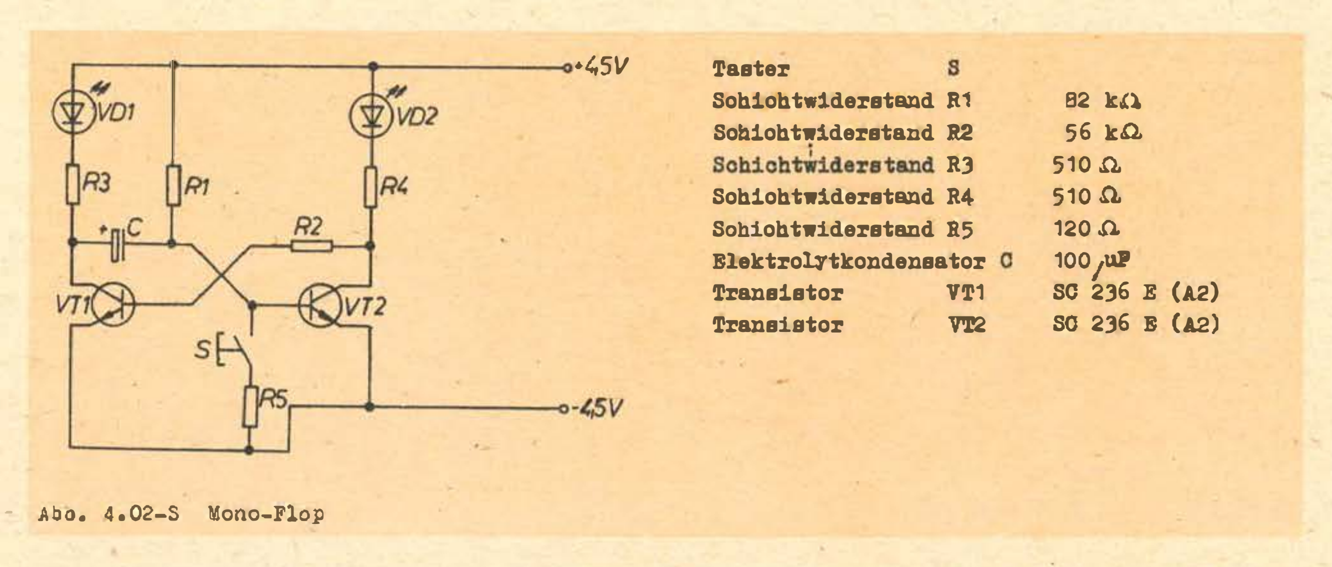
Baue die Schaltung nach Abb. 4.02 auf und überprüfe ihre Funktion!

Im stabilen Zustand (Taster offen) ist der Transistor VT 2 leitend, da seine Basis über den Widerstand R1 Plus-Potential erhält. LED VD2 leuchtet. Die Kollektor-Emitter-Spannung U_{CE} von VT 2 liegt im Sättigungsbereich bei ca. 0,2 V. Dadurch erhält die Basis des Transistors VT 1 über den Widerstand R2 keine ausreichende Spannung, so daß VT 1 gesperrt und die LED VD 1 dunkel ist. Der Kondensator C ist aufgeladen. Er liegt über R3 und VD 1 am Pluspol der Betriebsspannung und über der Basis-Emitter-Strecke von VT 2 am Minuspol.
Wird nun der Taster gedrückt, sperrt der Transistor VT 2, da seine Basis Minuspotential erhält. Folglich verlischt auch die LED VD 2 und die Basis des Transistors VT 1 wird über R2, R4 und VD 2 angesteuert. Die Kollektor-Emitter-Strecke von VT 1 wird niederohmig und entlädt den Kondensator C über die noch geschlossene Taste (der Entladestrom wird über den Widerstand R5 auf einen für den Transistor VT 1 ungefährlichen Wert begrenzt). Gleichzeitig leuchtet die LED VD 1. Der Vorgang des Entladens des Kondensators ist nach sehr kurzer Zeit beendet.

Nach dem Loslassen des Tasters bleibt der Zustand vorerst erhalten, da die Basis des Transistors VT 2 über den Widerstand R1 nicht sofort Pluspotential erhalten kann, weil der Kondensator C noch entladen ist. Der Pluspol des Kondensators liegt nach wie vor über den Transistor VT 1 auf dem Minuspotential. Über den Widerstand R1 wird nun der Kondensator aufgeladen, und zwar mit der relativ großen Zeitkonstante τ, die sich aus dem Kondensator C und dem Widerstand R1 ergibt. Erreicht die Spannung einen Wert, der den Transistor VT 2 über seine Basis einschaltet, wird der Transistor VT 1 gesperrt, da der Widerstand R2 über den Transistor VT 2 Minuspotential erhält. Gleichzeitig leuchtet die LED VD 2.
Der Pluspol des Kondensators liegt nun wieder über dem Widerstand R3 und der LED VD 1, welche verlischt, am Pluspotential der Batterie. Damit ist der stabile Zustand wieder erreicht.

Merke:

- Das Mono-Flop ist eine monostabile Kippstufe mit einem stabilen (Ruhe-) Zustand und einem instabilen (Arbeits-) Zustand.
- Der Arbeitszustand wird durch einen Impuls ausgelöst. Danach erfolgt automatisch Rückkehr in den Ruhezustand.
- Die Rückkehr vom Arbeitszustand in den Ruhezustand erfolgt mit Zeitverzögerung. Maßgebend für die Zeitverzögerung ist die Zeitkonstante des R-C-Gliedes.



Taster	S	
Schichtwiderstand	R1	82 kΩ
Schichtwiderstand	R2	56 kΩ
Schichtwiderstand	R3	510 Ω
Schichtwiderstand	R4	510 Ω
Schichtwiderstand	R5	120 Ω
Elektrolytkondensator	C	100 µF
Transistor	VT1	SC 236 E (A2)
Transistor	VT2	SC 236 E (A2)

Abb. 4.02-S Mono-Flop

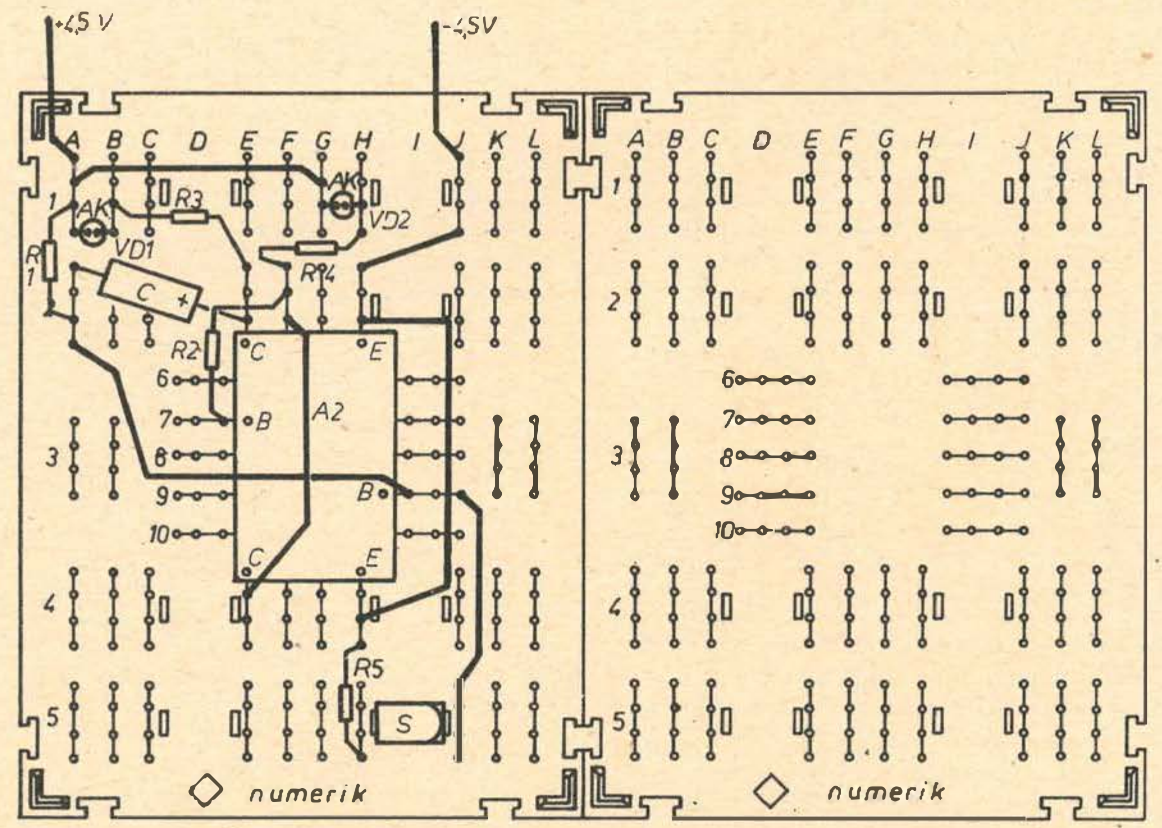


Abb. 4.02-A

4.3. Der astabile Multivibrator

Der astabile Multivibrator hat zwei Schaltzustände, aber beide Schaltzustände sind nicht stabil. Er pendelt oder kippt dauernd zwischen den beiden Zuständen hin und her und erzeugt auf diese Weise Schwingungen.

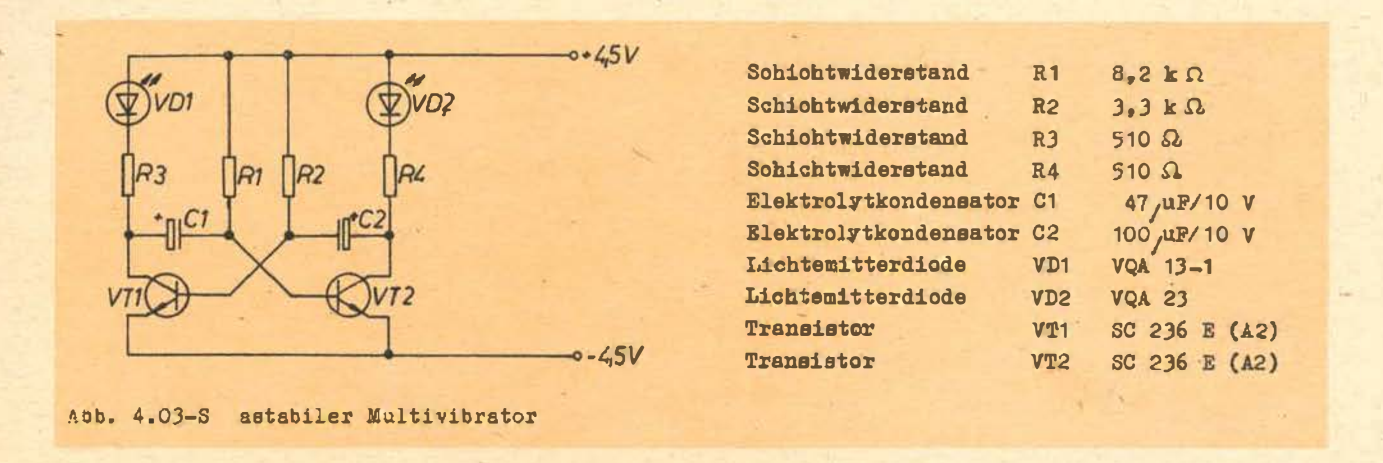
Der astabile Multivibrator ist ein Schwingungsgenerator.

Das Kippen von einen Zustand in den anderen bewirkt jeweils ein R-C-Glied, das die Basis des betreffenden Transistors ansteuert. Die Zeitkonstante jedes R-C-Gliedes ist die maßgebliche Größe für die Zeitverzögerung. Einen astabilen Multivibrator mit relativ großen Zeitkonstanten der R-C-Glieder können wir als Blinkgeber z. B. für die Modelleisenbahn verwenden.

Baue die folgende Schaltung auf und überprüfe ihre Funktion!

Angenommen VT 1 ist leitend, dann leuchtet LED VD 1. Der bereits geladene Kondensator C1 entlädt sich dann über den leitenden Transistor VT 1 und den Widerstand R1. Die Entladezeit hängt von der Zeitkonstanten des R-C-Gliedes R1, C1 ab.

Ist der Kondensator schließlich soweit entla-



Schichtwiderstand	R1	8,2 kΩ
Schichtwiderstand	R2	3,3 kΩ
Schichtwiderstand	R3	510 Ω
Schichtwiderstand	R4	510 Ω
Elektrolytkondensator	C1	47 µF/10 V
Elektrolytkondensator	C2	100 µF/10 V
Lichtemitterdiode	VD1	VQA 13-1
Lichtemitterdiode	VD2	VQA 23
Transistor	VT1	SC 236 E (A2)
Transistor	VT2	SC 236 E (A2)

Abb. 4.03-S astabiler Multivibrator

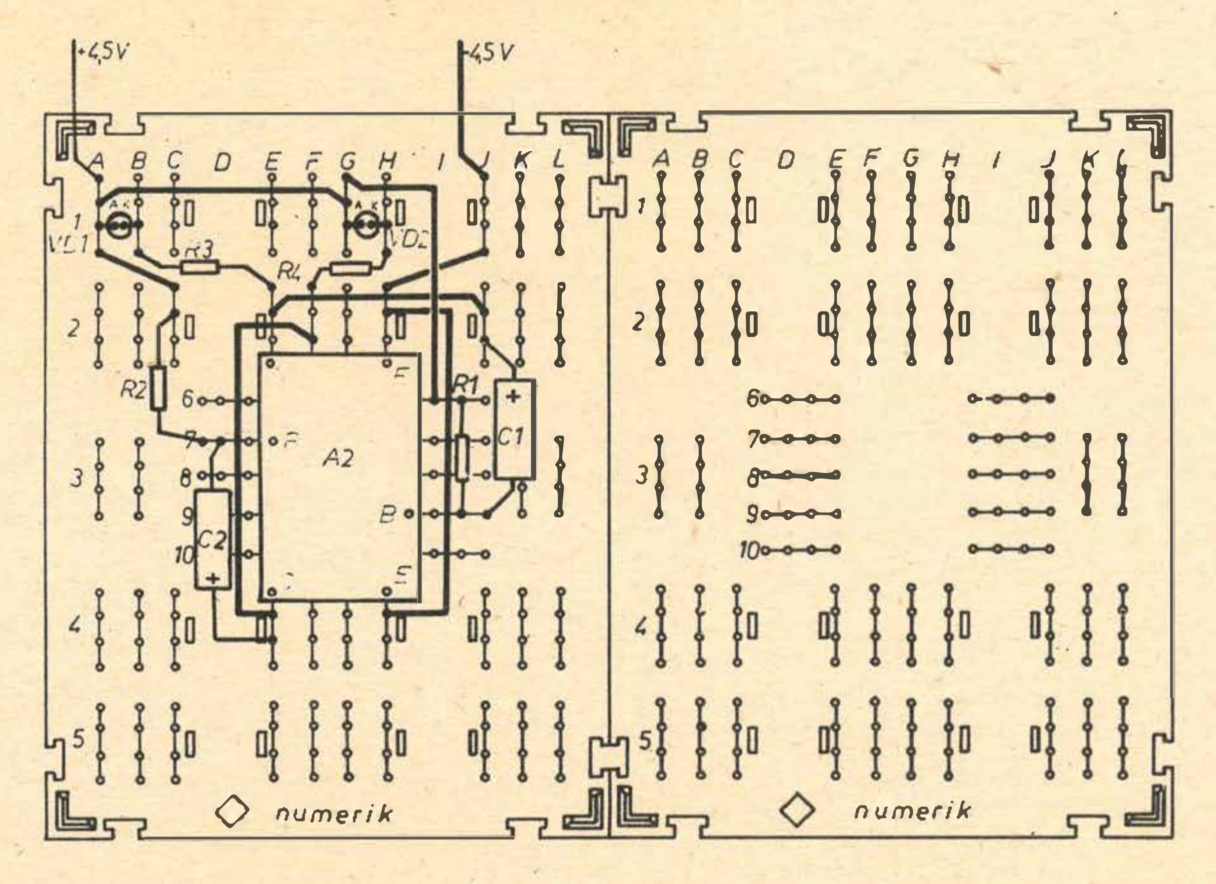


Abb. 4.03-A

den, daß die Basis des Transistors VT 2 genügend positives Potential erhalten kann, wird Transistor VT 2 leitend und LED VD 2 leuchtet auf.
Im gleichen Moment sinkt der Spannungsabfall zwischen Kollektor und Emitter des Transistors VT 2 auf nahe 0 Volt, der Kondensator C2 beginnt sich zu entladen. Das vom Kondensator C2 erzeugte negative Spannungspotential gelangt an die Basis des Transistors VT 1 und sperrt diesen. Dieser Zustand hält nun solange an, bis in der von der Zeitkonstante des R-C-Gliedes R2, C2 abhängigen Zeit an der Basis des Transistors VT 1 wieder der positive Spannungswert erreicht ist, der den Transistor durchsteuert.

__Merke:__
- Der astabile Multivibrator hat zwei instabile Schaltzustände. Er kippt dauernd von einem zum anderen Zustand und erzeugt auf diese Weise Schwingungen.
- Die Zeit zwischen den Kippvorgängen wird durch die Zeitkonstanten der R-C-Glieder bestimmt, die die Basis der Transistoren ansteuern.

4.4. Der Schmitt-Trigger

Der Schmitt-Trigger ist ein elektronischer Schalter, dessen Ausgang in Abhängigkeit von der Höhe der Eingangsspannung zwei verschiedene Spannungswerte annehmen kann. Das Umschalten des Ausganges zum anderen Spannungspegel erfolgt bei ganz bestimmten Eingangsspannungen, den sogenannten Schwellwerten. Dabei ist es vom Schaltungsaufbau des Triggers abhängig, ob er beim Überschreiten des oberen Schwellwertes der Eingangsspannung ein- oder ausschaltet und beim Unterschreiten des unteren Schwellwertes aus- oder einschaltet. Bei Anwendung des Schmitt-Triggers in digitalen Systemen ordnet man seiner Ausgangsspannung die logischen Pegel H und L zu. Die Eingangsspannung kann aber entsprechend der Lage der Schaltschwellen völlig andere Werte aufweisen.
Die Differenz zwischen den Schaltschwellen nennt man Hysterese. Um ein Umschalten des Triggerausganges zu erreichen muß sich die Eingangsspannung mindestens um den Betrag der Hysteresespannung in Richtung der anderen Schaltschwelle ändern. Vorteilhaft ist dies besonders bei sehr langsamen Änderungen der Eingangsspannung, denn bei ausreichend großer Hysterese schaltet die Ausgangsspannung auch im Bereich der Schaltschwellen nicht ständig hin und her. Folgendes Diagramm soll dieses Verhalten darstellen:

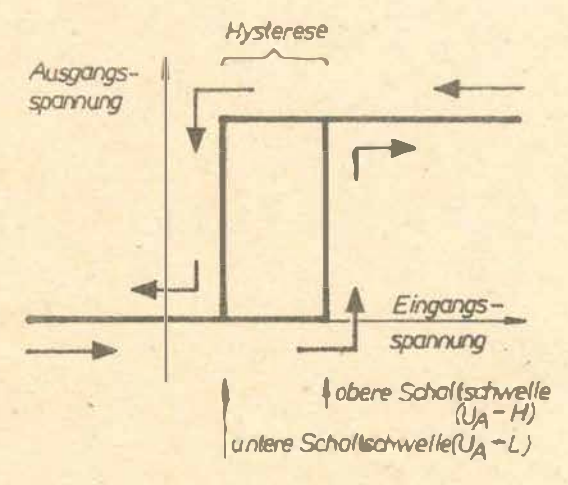


Abb. 4.04
Schaltverhalten des Schmitt-Triggers

An folgender Schaltung kann die Funktion eines Schmitt-Triggers demonstriert werden:

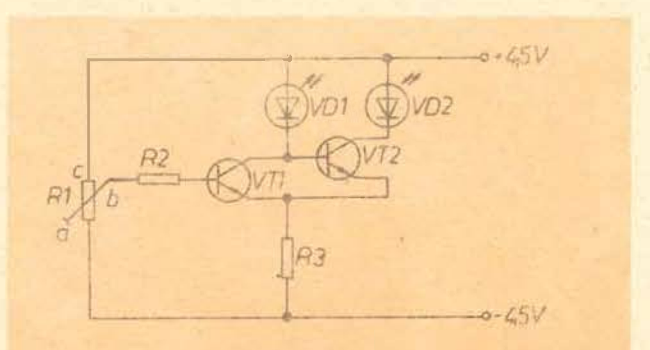


Abb. 4.05-S Schmitt-Trigger

Schichtdrehwiderstand	R1	10 kΩ	(A4)
Schichtwiderstand	R2	8,2 kΩ	
Schichtwiderstand	R3	1 kΩ	
Lichtemitterdiode	VD1	VQA 13-1	
Lichtemitterdiode	VD2	VQA 23	
Transistor	VT1	SC 236 E (A2)	
Transistor	VT2	SC 236 E (A2)	

Die Eingangsspannung U_e ändern wir mit dem Schichtdrehwiderstand R. Ohne Eingangsspannung ist Transistor VT 1 gesperrt und Transistor VT 2 leitend. LED VD 2 leuchtet. Wird die Eingangsspannung von 0 V hochgeregelt, so bleibt dieser Zustand erhalten, bis die Eingangsspannung den Schwellwert erreicht, bei dem die Schaltung in den anderen stabilen Zustand kippt. Dann wird Transistor VT 1 leitend und Transistor VT 2 sperrt. LED VD 1 beginnt zu leuchten und LED VD 2 geht aus.
Mit dem Schichtdrehwiderstand können wir die Hysterese zwischen Kippen und Zurückkippen herausfinden. Vielleicht müssen wir das mehrmals probieren.

Merke:
- Der Schmitt-Trigger ist eine bistabile Kippschaltung. Der Ausgang nimmt einen der zwei stabilen Zustände an.
- Der Schmitt-Trigger hat die Funktion eines elektronischen Schalters.
- Das Umschalten bzw. Umkippen geschieht bei einer definierten Eingangsspannung, dem Schwellwert.
- Zwischen den beiden Spannungswerten, bei denen die Schaltung kippt, besteht eine Differenz, die Hysterese.

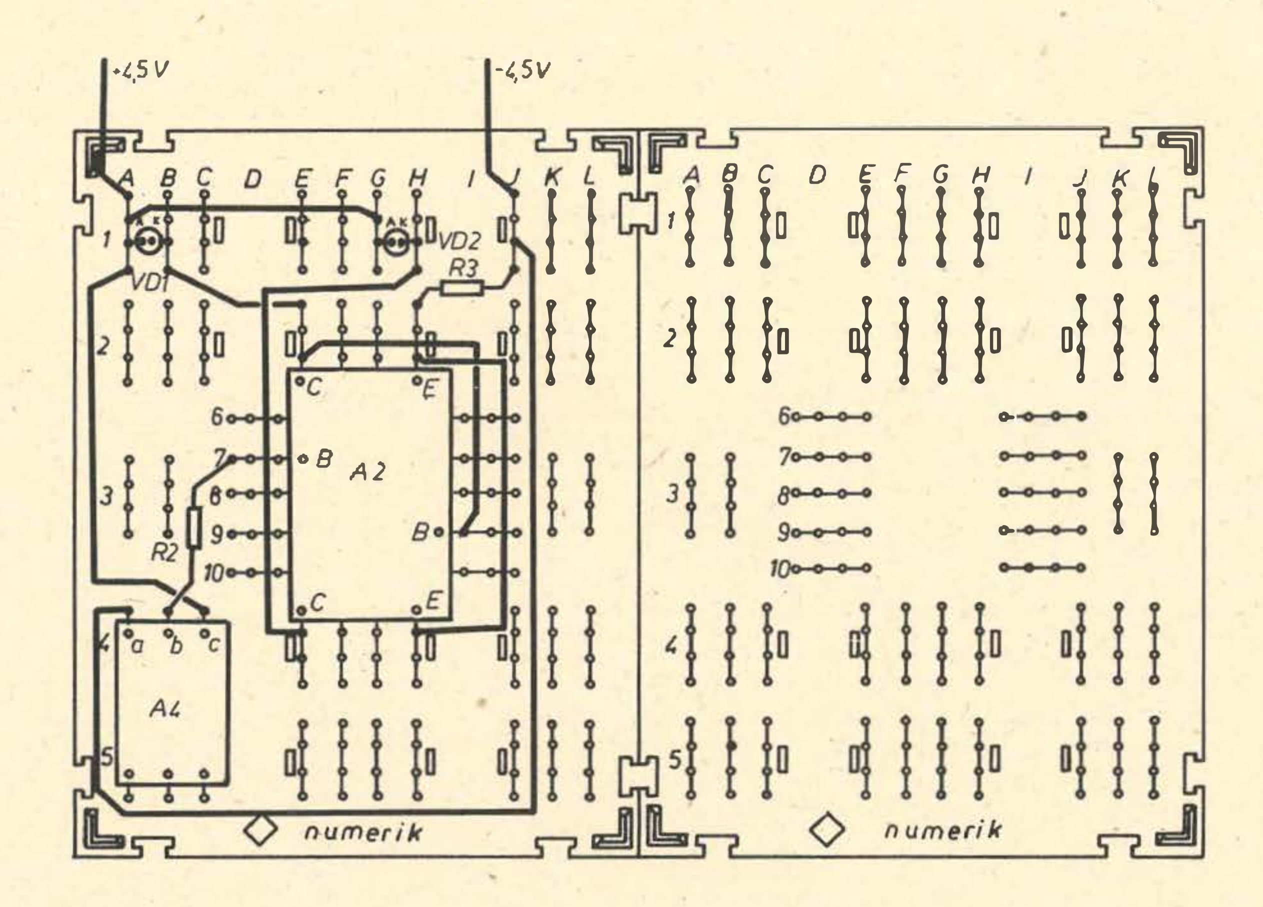


Abb. 4.05-A

5. Der Operationsverstärker

Jetzt haben wir es mit einem Bauelement der Mikroelektronik zu tun.
Aber was ist Mikroelektronik?
Die Zeit der Mikroelektronik begann Anfang der 60-er Jahre mit Versuchen, auf einem Halbleiterblättchen anstatt nur eines Transistors wie bisher gleich mehrere Transistoren, möglichst auch Widerstände und Kapazitäten unterzubringen. Im Laufe der Zeit gelang es, auf kleinen Halbleiterblättchen, die wir als Chip bezeichnen, gleich fertige Schaltungen zu entwickeln. Zum Beispiel wurden UND-, NAND- und andere Gatter, Trigger-, Multivibratoren-, Verstärker- und andere Schaltungen auf einen Chip gebracht. Eine solche fertige Schaltung auf einem Chip bezeichnet man als integrierte Schaltung (IS). Eine integrierte Schaltung kann man nicht mehr verändern. Das Bauelement, das diese integrierte Schaltung enthält, heißt integrierter Schaltkreis (oder besser nur "Schaltkreis"). Die Abb. 5.01 zeigt einen solchen Schaltkreis. Er sieht einem Käfer mit vielen Beinen ähnlich. Die Beine sind die elektrischen Anschlüsse des Schaltkreises. Der Körper des Käfers ist ein Gehäuse, in welchem der Chip, auf dem sich die integrierte Schaltung befindet, sicher untergebracht ist.

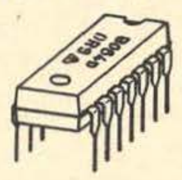


Abb. 5.01
Schaltkreis B 034 D

Bis 1970 etwa gelang es, auf Chips mit einer Fläche von einigen Quadratmillimetern 10 bis 100 Bauelementefunktionen unterzubringen. Versuchen wir einmal, uns vorzustellen, wie groß - oder besser wie klein - eine Transistorfunktion auf solch einem Chip sein kann. Und das war erst der Anfang. Die "Verkleinerung" der Funktionselemente auf einem Chip ging weiter, und immer mehr hatten auf einem Chip Platz. Bereits 1970 konnten einige tausend und 1980 einige hunderttausend Funktionselemente auf einem Chip Platz finden. Es entstanden integrierte Schaltungen mit einem immer größeren Integrationsgrad, d.h. die räumlichen Abmessungen der integrierten Schaltungen wurden kleiner, und die Menge der Funktionselemente, die in ihnen enthalten ist, nahm gewaltig zu. Die Schaltkreise erhielten einen immer größeren Integrationsgrad. Immer kompliziertere Schaltungen konnten auf einem Chip unterge-

bracht werden. Und diese Entwicklung geht immer noch weiter!
Ein Taschenrechner benötigt ca. 10000 Transistorfunktionen, die in einem Schaltkreis untergebracht sind. Stellen wir uns einen Taschenrechner vor, der aus 10000 einzelnen Transistoren aufgebaut würde! Mit Transistoren allein würde es nicht gehen, denn Widerstände, Kondensatoren, eine Menge Draht und vieles andere wären auch noch nötig. Könnte man einen solchen Rechner noch als Taschenrechner bezeichnen, selbst wenn er noch in eine große Aktentasche passen würde? und was wäre, wenn von den zehntausend Transistoren einer nicht funktioniert? Wahrscheinlich hätten wir mit einem solchen Gerät nur Ärger. Wenn bei einem Schaltkreis eine Transistorfunktion ausfällt, dann nimmt man eben gleich einen anderen Schaltkreis. Die Mikroelektronik trägt also auch zu einer größeren Funktionssicherheit der Geräte bei.

Operationsverstärker kann man auch mit diskreten Bauelementen bauen, mit Transistoren, Widerständen usw. Unser Operationsverstärker, mit dem wir uns hier beschäftigen, ist eine integrierte Schaltung und deshalb ein Bauelement der Mikroelektronik. Wir wollen uns den Aufwand ersparen, einen Operationsverstärker aus diskreten Bauelementen zu bauen. Wer macht das denn heutzutage noch, wo es fertige integrierte Schaltungen der Mikroelektronik gibt? Wir wollen auch gar nicht untersuchen, wie ein Operationsverstärker aufgebaut ist, sondern wollen kennenlernen, wie er funktioniert und was man damit machen kann. Und der Operationsverstärker kann viel, nicht nur verstärken. Wir verwenden einen Schaltkreis, in dem gleich vier Operationsverstärker enthalten sind. Das ist der Schaltkreis B 084 D. Er sieht aus wie unsere Käfer in Abb. 5.01. Damit wir dieses kleine Ding besser handhaben können, haben wir es auf eine Platine mit Steckerstiften montiert. Abb. 5.02 zeigt diese Platine.

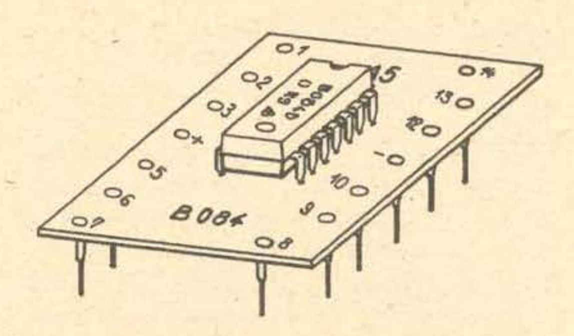


Abb. 5.02
Schaltkreis B 084 D auf Modul A5

Wir brauchen sie nur an vorgesehener Stelle in die Grundplatte einzustecken. Aber bevor wir damit Versuche durchführen können, müssen wir uns erst einige Grundkenntnisse aneignen. Leider geht es nicht anders.

Zuerst das Schaltungssymbol eines Operationsverstärkers und die Kennzeichnung seiner Anschlüsse (Abb. 5.03).

E_1 – Eingang 1 (invertierender Eingang)
E_2 – Eingang 2 (nichtinvertierender Eingang)
A – Ausgang
$+U_B$, $-U_B$ – Anschlüsse für die Stromversorgung

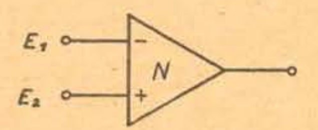


Abb. 5.03
Schaltzeichen eines Operationsverstärkers

In der Fachsprache wird der Operationsverstärker als OV bezeichnet. Zur Stromversorgung des Operationsverstärkers sind immer zwei Betriebsspannungen notwendig, eine gegenüber einem Bezugspunkt (z.B. Masse) positive ($+U_B$) und eine gegenüber dem gleichen Bezugspunkt negative ($-U_B$). Die Schaltungen zur Stromversorgung sieht dann immer so aus, wie es Abb. 5.04 zeigt.

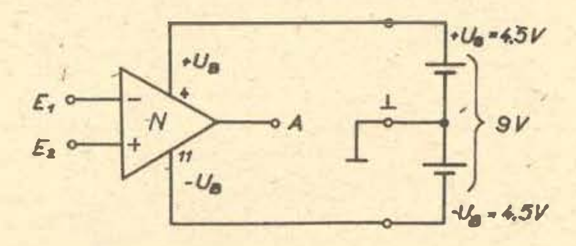


Abb. 5.04
Spannungsversorgung des B 084 D

Bei allen Versuchen ist wichtig:
- **Die Anschlüsse $+U_B$ und $-U_B$ dürfen niemals vertauscht werden. Das würde den OV sofort zerstören.**

Unser Schaltkreis auf der Platine enthält vier OV. Dank der Mikroelektronik haben sie bequem im Schaltkreisgehäuse Platz. Abbildung 5.05 zeigt den Schaltkreis von oben gesehen, wobei wir die im Schaltkreis enthaltenen OV eingezeichnet und die Anschlüsse mit Ziffern versehen haben.

Beachte:
- Bei den nachfolgenden Versuchen sind die Anschlüsse am OV, die Pin's, immer mit Ziffern versehen, welche denen in Abb. 5.05 entsprechen.
- Ein Verpolen der Betriebsspannung (Anschluß 11 $-U_B$, Anschluß 4 $+U_B$) führt zur Zerstörung des Bauelementes. Um das zu vermeiden, wurden diese Anschlüsse des Moduls mit "+" und "-" gekennzeichnet.

Kennzeichen am Gehäuse

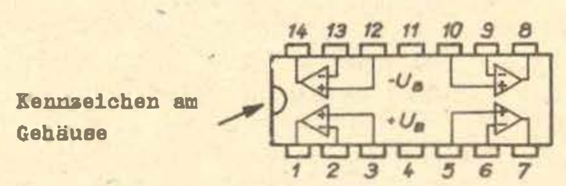


Abb. 5.05
Anschlußbelegung des B 084 D

5.1. Der unbeschaltete Operationsverstärker

Und jetzt wollen wir experimentieren, zuerst nur mit einem der vier eingezeichneten OV. Nehmen wir den mit den Anschlüssen 1, 2 und 3. Wir wollen die Verstärkerwirkung des OV's zeigen. Verstärkt werden soll eine ganz kleine Spannung, die entsteht, wenn man eine Kupfer- und eine Aluminiumelektrode in eine Kochsalzlösung taucht.

Baue folgenden Versuch auf!

Aluminiumstreifen (Al)		
Kupferstreifen (Cu)		
Schichtwiderstand	R	82 Ω
Lichtemitterdiode	VD1	VQA 23
Lichtemitterdiode	VD2	VQA 13-1
Operationsverstärker	N	B 084 D (A5)

\- Pol: Aluminiumstreifen

\+ Pol: Kupferstreifen

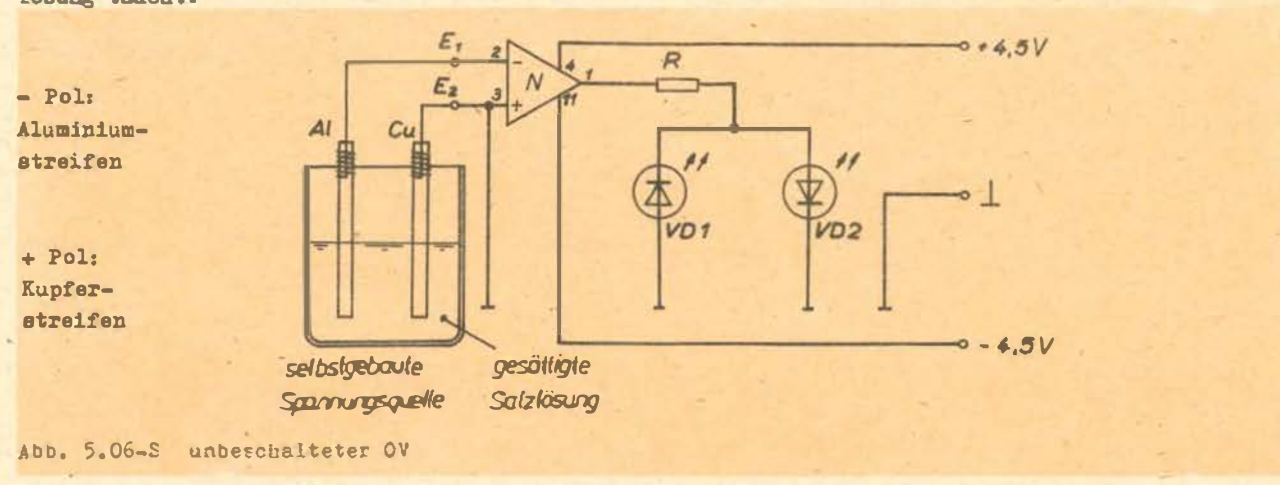


Abb. 5.06-S unbeschalteter OV

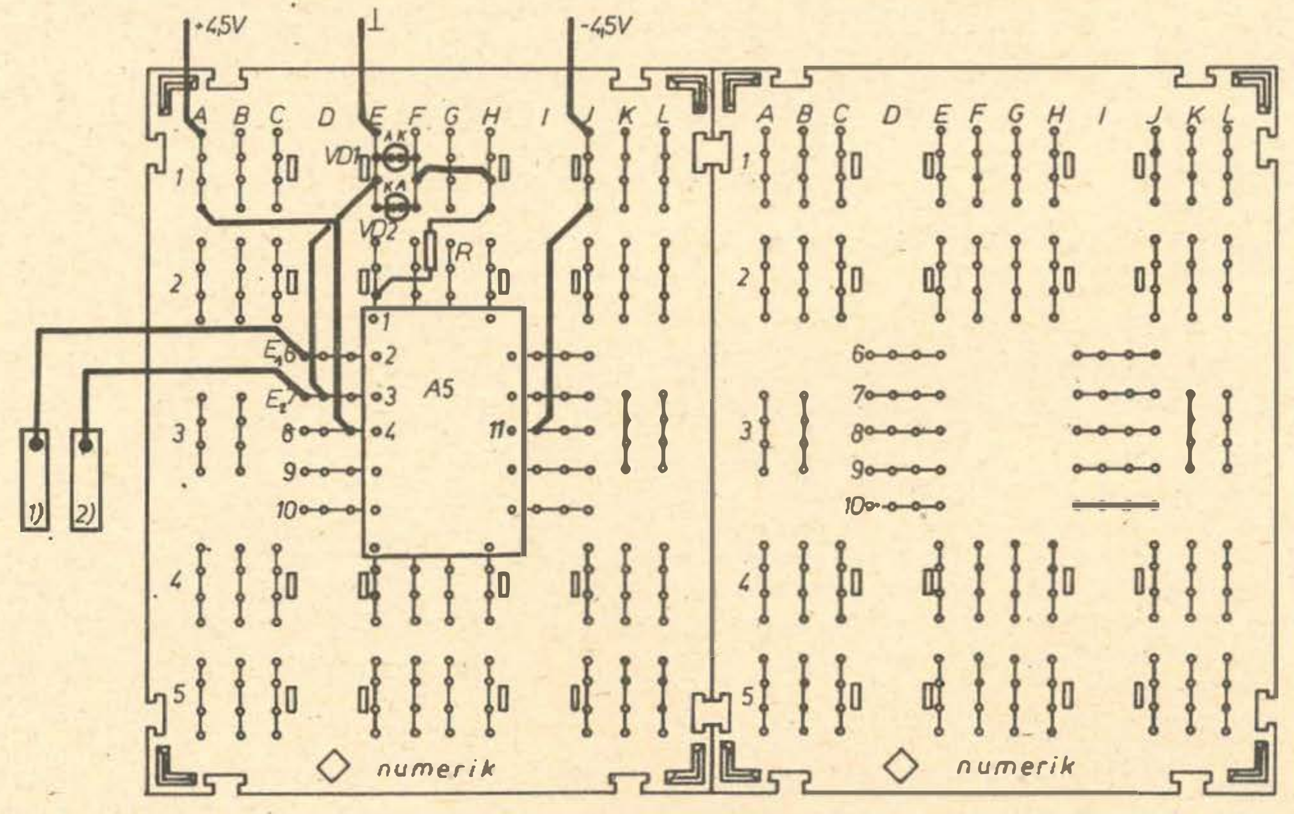


Abb. 5.06-A 1) Aluminium (Al) 2) Kupfer (Cu)

Wir bauen eine Spannungsquelle. Wir nehmen dazu ein kleines Gefäß (kein Metallgefäß), geben etwas Wasser und soviel Kochsalz hinein, daß eine gesättigte Lösung entsteht. Dann hängen wir auf der einen Seite den Aluminiumstreifen (-Pol der Batterie) und auf der anderen Seite den Kupferstreifen (+ Pol der Batterie) in das Gefäß und verbinden die beiden Elektroden mit je einem Eingang des OV's. Wenn wir jetzt die Betriebsspannung anschließen, dann muß die rote LED leuchten. Die sehr geringe Spannung, die unsere Spannungsquelle liefert, wird vom OV so verstärkt, daß die LED VD 2 leuchten und damit die Spannung anzeigen kann.
Hier haben wir die erste Eigenschaft des OV's kennengelernt: Die Verstärkerwirkung!
Der OV ist in der Lage, eine an seinen Eingängen anliegende Spannung mehr als 15000 mal zu verstärken. Andere OV können die Eingangsspannungsdifferenzen etwa 100 000-fach verstärken!
Beispiel:
Liegt zwischen den beiden Eingängen eine Spannung von 0,0003 Volt, dann kann die verstärkte Ausgangsspannung 4,5 Volt betragen.
Aber: Die Ausgangsspannung kann nicht größer sein als die Betriebsspannung, also 4,5 Volt. Sie wird wegen Spannungsabfällen im OV auch nie ganz erreicht, etwa nur 4,3 Volt. Wird eine größere Eingangsspannung als 0,0003 Volt angelegt, so kann die Ausgangsspannung nicht dementsprechend ansteigen. Der OV arbeitet jetzt im Bereich der Sättigung.
Wir vertauschen jetzt die beiden Kabel, die von unserer selbstgebauten Spannungsquelle kommen, an den Punkten E_1 und E_2 der Schaltung. Wir stellen fest, daß jetzt die grüne LED leuchtet. Die Ausgangsspannung am OV muß demzufolge eine andere Polarität haben, denn sie hat einen Strom in die entgegengesetzte Richtung zur Folge.
Damit haben wir die zweite Eigenschaft des OV's kennengelernt: Der OV kann am Ausgang positive und negative Spannungen erzeugen.
Der Bezugspunkt ist Masse.

5.2. Der invertierende und der nichtinvertierende Operationsverstärker

Beim vorangegangenen Versuch wurde die Verstärkerwirkung des OV's nicht beeinflußt. Er verstärkte um das ihm Mögliche und ging daher sofort in die Sättigung. Das ist bei manchen Anwendungen des OV's auch erwünscht, wenn z.B. nur nachgewiesen und angezeigt werden soll, daß eine Spannung vorhanden ist, oder wenn verglichen und angezeigt werden soll, ob eine Spannung größer ist als eine andere. Aber bei Verstärkerschaltungen ist das nicht erwünscht. Im Bereich der Sättigung ist keine Verstärkung mehr möglich. Deshalb muß man seine Verstärkerwirkung abschwächen. Z.B. kann man vorgeben, daß er nur 10-fach oder nur 0,1-fach verstärken darf. (Im letzten Fall wäre der Verstärkungsfaktor kleiner als 1, das wäre keine Verstärkung, sondern eine "Abschwächung". Aber auch das kann der OV.
Die Veränderung der Verstärkung eines OV's wird durch seine äußere Beschaltung mit Widerständen erreicht. Wie das vor sich geht, werden wir später noch sehen. Jetzt müssen wir uns erst einmal mit den beiden Grundschaltungen des OV's beschäftigen, als invertierender Verstärker und als nichtinvertierender Verstärker.

Was ist darunter zu verstehen?

Zuerst wollen wir feststellen, daß es sich um ein und denselben OV handelt, wenn wir vom invertierenden bzw. nichtinvertierenden OV sprechen. Gemeint ist immer, in welcher Grundschaltung wir ihn betreiben. Das ist davon abhängig, an welchem Eingang wir ein Signal zur Verstärkung eingeben wollen und wie wir ihn zu diesem Zweck mit weiteren Bauelementen außen beschalten.
Was heißt nun invertieren bzw. nichtinvertieren?
Invertieren heißt umkehren und nichtinvertieren heißt demzufolge nicht umkehren. Verglichen wird dabei die Polarität der Eingangsspannung mit der der Ausgangsspannung. Der invertierende Eingang ist immer der Eingang, der am OV mit einem Minuszeichen versehen ist (E_1 in Abb. 5.03). Liegt an diesem Eingang eine negative Spannung an, dann erscheint am Ausgang eine positive Spannung. Eine positive Spannung an diesem Eingang hat am Ausgang eine negative Spannung zur Folge. Der nichtinvertierende Eingang, also der Eingang mit dem Pluszeichen, kehrt die Polarität der Spannung nicht um (E_2 in Abb. 5.03). Eine negative Spannung am Eingang hat hier auch eine negative Spannung am Ausgang zur Folge, eine positive Eingangsspannung führt zu einer positiven Ausgangsspannung.
Beide Verstärkerschaltungen haben noch weitere Unterschiede, die wir noch kennenlernen werden.

5.2.1. Der invertierende Operationsverstärker

Baue folgende Schaltung auf!

Schichtwiderstand	R1	100 kΩ
Schichtwiderstand	R2	1 MΩ
Schichtwiderstand	R3	120 Ω
Lichtemitterdiode	VD	VQA 13-1
Operationsverstärker	N	B 084 D (A5)
1 Aluminiumstreifen	(Al)	
1 Kupferstreifen	(Cu)	

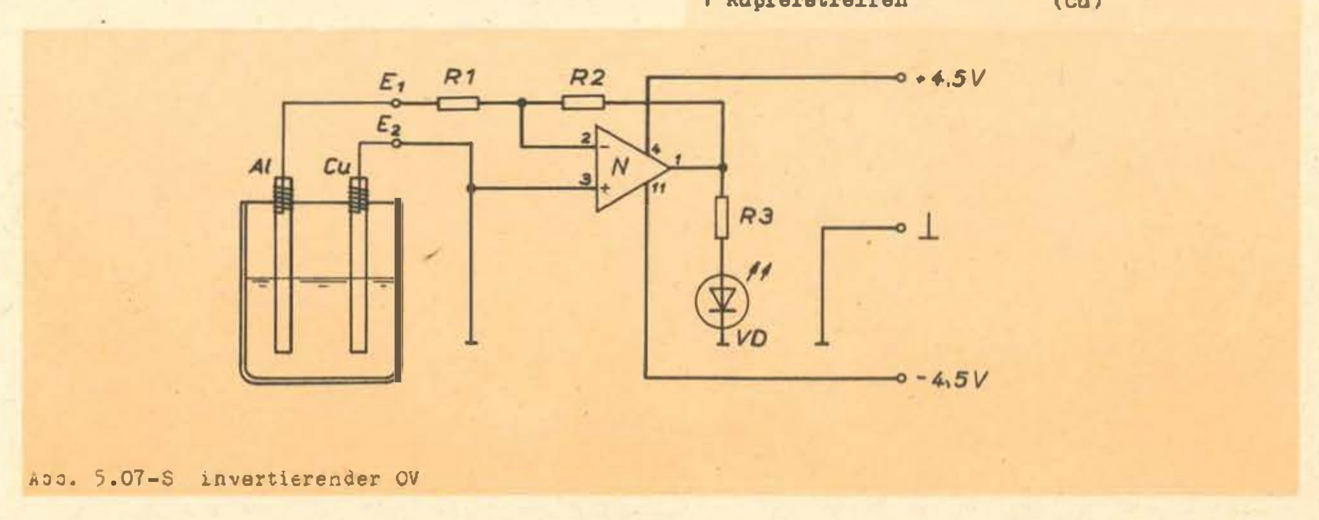


Abb. 5.07-S invertierender OV

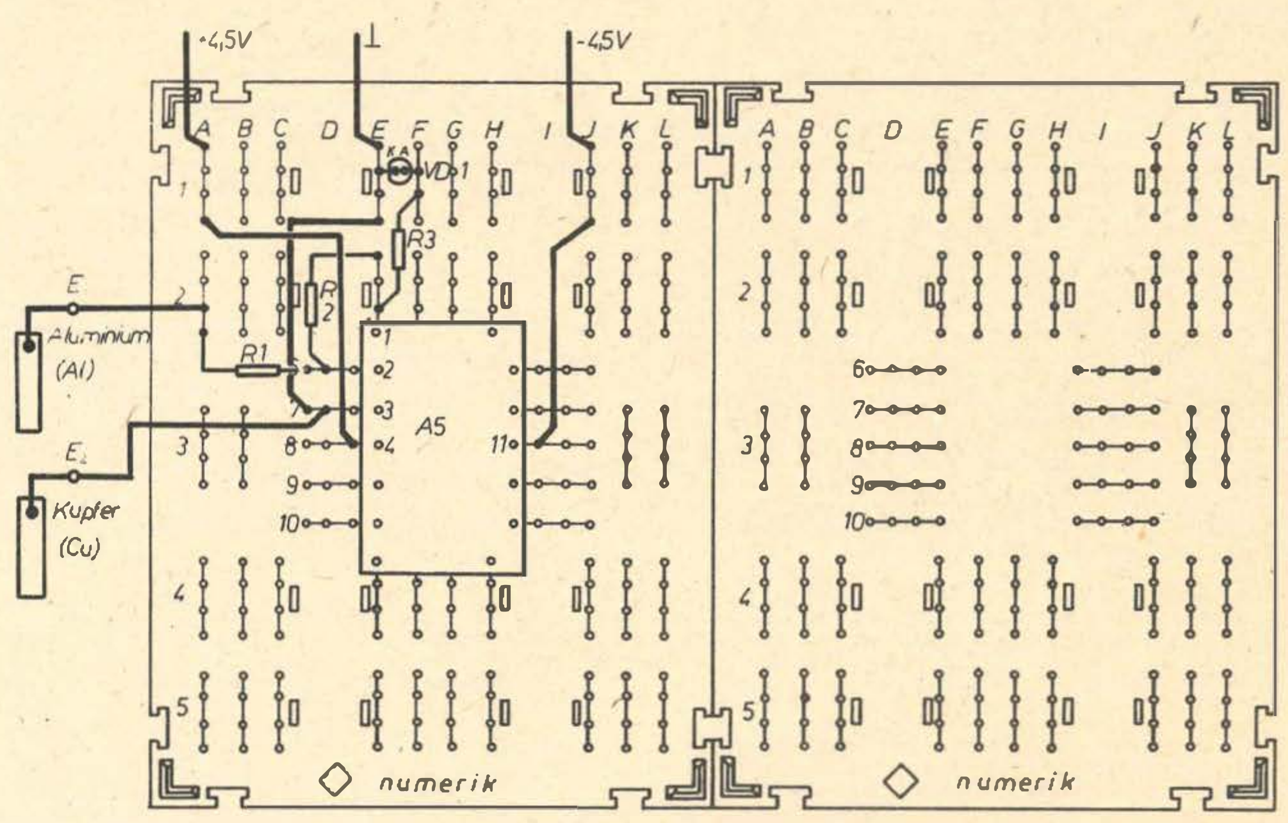


Abb. 5.07-A

Der Aluminiumstreifen der Batterie wird mit dem Anschluß E_1 und damit mit dem invertierenden Eingang des OV's verbunden, der Kupferstreifen der Batterie mit Masse. Da nach der elektrochemischen Spannungsreihe Aluminium gegenüber Kupfer den Minuspol bildet, liegt demzufolge Minus am invertierenden Eingang des OV's. Die LED am Ausgang wird die verstärkte Spannung anzeigen. Sie kann das, weil am Ausgang des OV's Plus anliegt. Also wird die Polarität der Eingangsspannung invertiert.

Wie groß ist nun die Verstärkung?
Für die Spannungsverstärkung gilt:

Eingangsspannung.Verstärkung = Ausgangsspannung

$$U_E \cdot V = U_A$$

Dividieren wir die Gleichung durch U_E, dann ergibt sich der Verstärkungsfaktor

$$V = \frac{U_A}{U_E}$$

V = Verstärkungsfaktor
U_A = Ausgangsspannung des OV's
U_E = Eingangsspannung des OV's

Der Verstärkungsfaktor ist das Verhältnis der Ausgangsspannung zur Eingangsspannung!
Diese Formel ist zwar richtig, aber trotzdem können wir damit noch nichts anfangen. Woraus ergeben sich denn die Beziehungen für U_A und U_E? Wir hatten bereits festgestellt, daß die äußere Beschaltung des OV's mit Widerstanden die Verstärkung beeinflußt. Das sind in Abb. 5.08 (auch in Abb. 5.07) die Widerstände R2 und R1. Die Kombination aus beiden Widerständen stellt eine Gegenkopplung dar. Die am Ausgang anliegende positive Spannung wird über den Widerstand R2 auf den invertierenden Eingang zurückgeführt und schwächt wegen ihrer umgekehrten Polarität zur anliegenden negativen Eingangsspannung diese um einen bestimmten Betrag, so daß der Punkt K (Abb. 5.08) nahezu Massepotential hat. Der Grad der Schwächung oder besser der sich ergebende Verstärkungsfaktor wird also maßgeblich durch die Widerstände R2 und R1 bestimmt. Wenn das so ist, dann müssen wir erreichen, daß R2 und R1 in die Berechnung der Verstärkung eingehen. Dazu müssen wir Beziehungen finden. Die Beziehungen für U_A und U_E, in denen die Widerstände R2 und R1 eine Rolle spielen, erhalten wir aus der Kirchhoff'schen Maschenregel. Vergleiche hierzu Abb. 5.08.

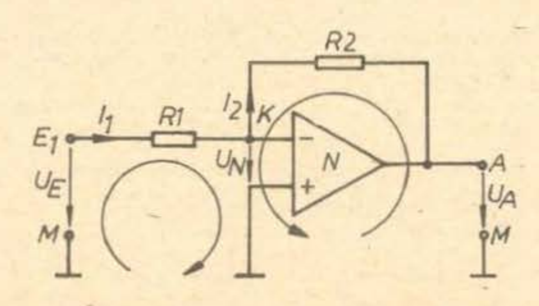


Abb. 5.08
Ströme und Spannungen am invertierenden OV

1. In bezug auf die Ausgangsspannung U_A gilt:
$- U_A - I_2 \cdot R_2 + U_N = 0$
(Masche: Masse – A – K – Masse)
oder: Die Ausgangsspannung ist genau so groß wie der Spannungsabfall am Widerstand R_2 plus der Spannung zwischen Knotenpunkt K und Masse.
2. In bezug auf die Eingangsspannung U_E gilt:
$- U_E + I_1 \cdot R_1 + U_N = 0$
(Masche: Masse – E_1 – K – Masse)
oder: Die Eingangsspannung ist genau so groß wie der Spannungsabfall am Widerstand R_1 plus der Spannung am invertierenden Eingang (Punkt K) gegen Masse.

Wenn wir annehmen, daß in den OV am Eingang weder Strom hineingeht noch herauskommt, denn in der Praxis beträgt der Eingangsstrom auch nur Bruchteile von μA, dann muß der Strom I_1, der in den Knotenpunkt K hineinfließt, genau so groß sein wie der Strom I_2, der aus ihm herausfließt. Demzufolge kann man setzen:

$$I_1 = I_2 = I$$

Wenn weiter beachtet wird, daß U_N, also die Spannung zwischen den Eingängen oder zwischen invertierendem Eingang und Masse, winzig klein ist, macht man keinen großen Fehler, wenn man in beiden Gleichungen $U_N = 0$ setzt. Damit erhalten wir

1. $-U_A - I \cdot R_2 = 0$
2. $-U_E + I \cdot R_1 = 0$

Wie kommen wir aber nun wieder auf unsere Verstärkerformel? Nichts einfacher als das. Wir formen um:

1. $- U_A - I \cdot R_2 = 0 \quad | \cdot (-1)$
$U_A + I \cdot R_2 = 0 \quad | - I \cdot R_2$
$\underline{\underline{U_A = -I \cdot R_2}}$

2. $- U_E + I \cdot R_1 = 0 \quad | \cdot (-1)$
$U_E - I \cdot R_1 = 0 \quad | + I \cdot R_1$
$\underline{\underline{U_E = I \cdot R_1}}$

Wenn, wie wir bereits festgestellt haben $V = \frac{U_A}{U_E}$ gilt, dann kann auch gesetzt werden

$$V = \frac{-I \cdot R_2}{I \cdot R_1}$$ und gekürzt

$$V = -\frac{R_2}{R_1}$$

Das heißt, der Verstärkungsfaktor V ist das Verhältnis der beiden außen am OV zugeschalteten Widerstände R_2 und R_1 zueinander. (Das Minuszeichen soll uns nicht interessieren, das übersehen wir.)
Aus den beiden Bestimmungsgleichungen für V ergibt sich:

$$\frac{U_A}{U_E} = -\frac{R_2}{R_1}$$

und multipliziert mit U_E, dann kann man die

Ausgangsspannung errechnen.

$$U_A = U_E \cdot -\frac{R_2}{R_1}$$

In unserem Versuch haben die Widerstände die Werte $R_1 = 100\ k\Omega$ und $R_2 = 1\ M\Omega$. Als Verstärkungsfaktor ergibt sich demzufolge:

$$V = -\frac{R_2}{R_1}$$

$$V = -\frac{1\ 000\ 000\ \Omega}{100\ 000\ \Omega}$$

$$\underline{\underline{V = -10}}$$

Die Eingangsspannung U_E wird zehnfach verstärkt, die Polarität aber umgekehrt.

Aufgabe:
Ein OV soll in invertierender Grundschaltung 50-fach verstärken. Der Widerstand R_2 soll 1 MΩ betragen. Wie groß muß R_1 sein?

gegeben: $V = -50$ gesucht: R_1

$R_2 = 1\ M\Omega$

$$V = -\frac{R_2}{R_1} \quad \Big| \cdot R_1$$

$$V \cdot R_1 = -R_2 \quad \Big| : V$$

$$R_1 = \frac{-R_2}{V}$$

$$R_1 = -\frac{1\ 000\ 000\ \Omega}{-50}$$

$$\underline{\underline{R_1 = 20\ 000\ \Omega}}$$

Der Widerstand R_1 muß 20 kΩ betragen!
Noch etwas kann man aus der Formel $V = -\frac{R_2}{R_1}$ erkennen, wenn wir den Betrag der Verstärkung betrachten:
Wenn R_2 (also der Zähler) größer ist als R_1 (der Nenner), dann ist die Verstärkung (das Ergebnis) größer als 1. Ist dagegen R_2 kleiner als R_1, dann ist auch die Verstärkung kleiner als 1.

Fassen wir die wichtigsten Eigenschaften des invertierenden OV's zusammen:

Merke:

1. Eingangs- und Ausgangsspannung haben verschiedene Polarität.
2. Eine angelegte Spannung kann nicht nur verstärkt, sondern auch abgeschwächt werden. Entscheidend für den Verstärkungsfaktor ist das Gegenkopplungsnetzwerk (nach Abb. 5.08), bestehend aus den Widerständen R_2 und R_1. Für die Verstärkung V gilt:

$$V = \frac{U_A}{U_E} = -\frac{R_2}{R_1}$$

Folgende Beziehungen gelten für den Betrag der Verstärkung:
wenn $R_2 < R_1$, dann $V < 1$
wenn $R_2 > R_1$, dann $V > 1$
wenn $R_2 = R_1$, dann $V = 1$.

3. Da der nichtinvertierende Eingang auf Masse gelegt ist und zwischen den Eingängen praktisch keine Spannungsdifferenz besteht, liegt auch der invertierende Eingang quasi auf Masse. Man spricht von einem virtuellen Nullpunkt. Dies ist wichtig für die Betrachtung des Eingangswiderstandes: Der an und für sich hohe Eingangswiderstand des OV's kommt nicht zum Tragen, und R_1 wird zum Eingangswiderstand der Gesamtschaltung.

5.2.2. Der nichtinvertierende Operationsverstärker

An die Anschlüsse E_2 (nichtinvertierender Eingang) und M (Masse) wird die selbstgebaute Spannungsquelle angeschlossen und zwar Kupfer an E_2 und Aluminium an M. Diesmal liegt am Eingang des OV's der Pluspol, und zwar am nichtinvertierenden Eingang. Erinnern wir uns: Bei der nichtinvertierenden Grundschaltung des OV's wird die Polarität der Eingangsspannung gegenüber der Ausgangsspannung nicht umgekehrt, nicht invertiert. Die LED am Ausgang wird die verstärkte Spannung anzeigen, weil am Ausgang ebenfalls Plus liegt. Wechselt man am Eingang die Polarität, so wird die LED verlöschen, denn es liegt Minus am Ausgang des OV's. Da die LED dann in Sperrichtung gepolt ist, kann sie nicht leuchten.
Auch hier ist Gegenkopplung vorhanden. Allerdings wird nur ein Teil der Ausgangsspannung zurückgeführt. Da die Differenzspannung U_N zwischen den Eingängen so gering ist, daß man sie zu 0 Volt annehmen kann, liegt am invertierenden Eingang eine Spannung, die praktisch genau so groß ist wie U_E. Die Beziehungen stellen wir wieder nach der Kirchhoff'schen Maschenregel her:

1. $-U_A + I\ (R_1 + R_2) = 0$
   (Masche: Masse – A – K – Masse)
   oder: Die Ausgangsspannung U_A ist gleich der Summe der Spannungsabfälle an beiden Widerständen R_1 und R_2.
2. $-U_E + I \cdot R_2 = 0$
   (Masche: Masse – E_2 – K – Masse)
   oder: Die Eingangsspannung U_E ist gleich dem Spannungsabfall am Widerstand R_2. (Wobei davon ausgegangen wird, daß die Spannung U_N zwischen den beiden Eingänge zu 0 Volt angesehen wird.)

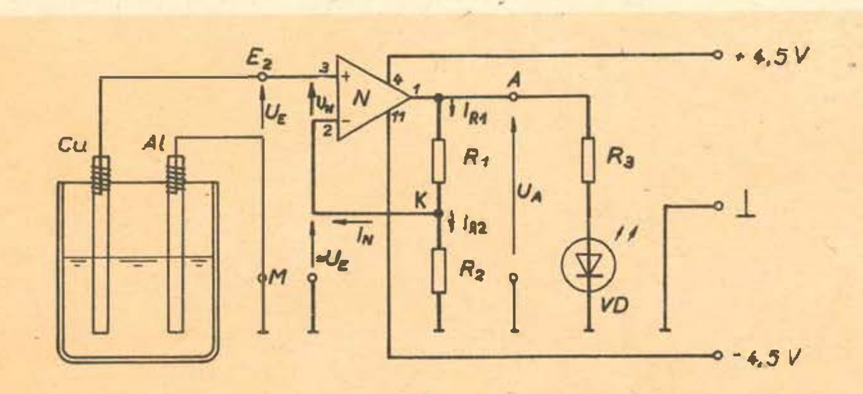
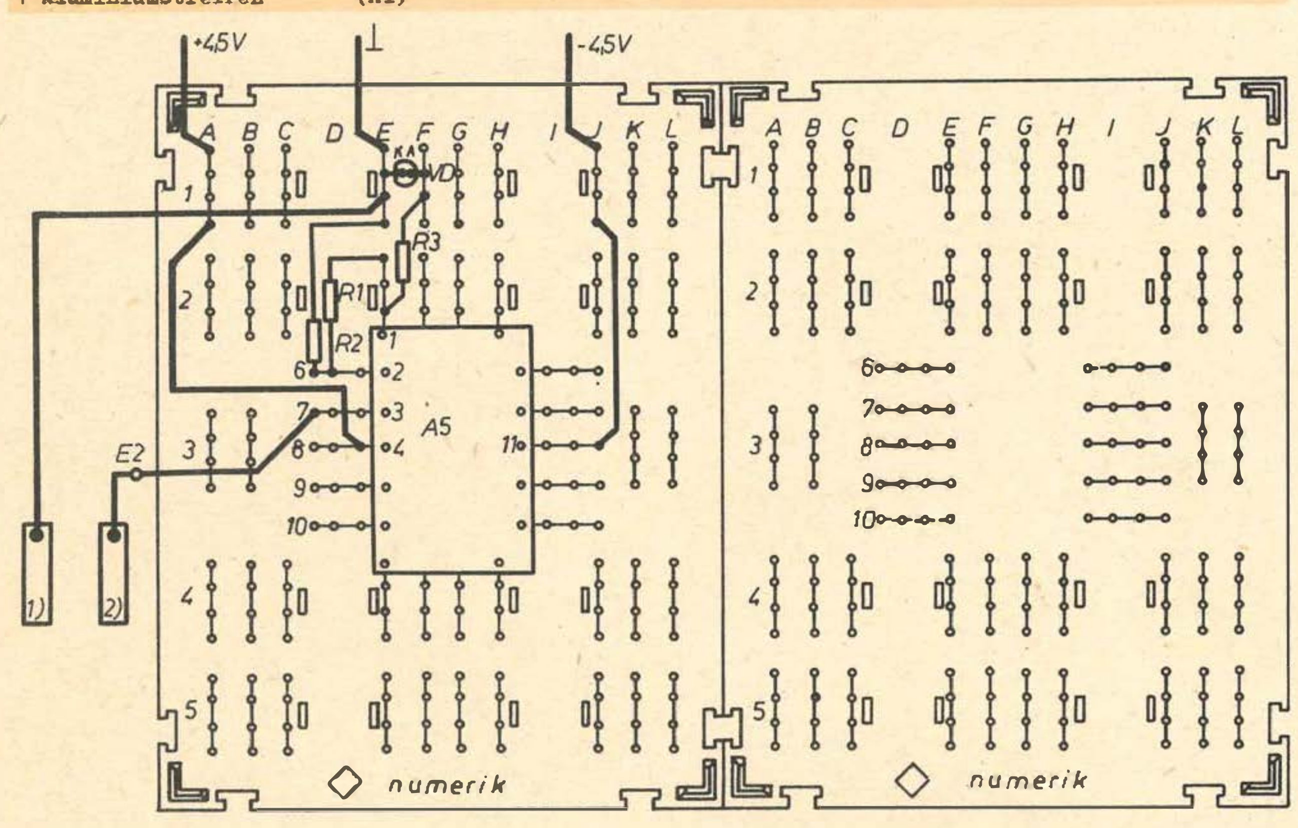


Abb. 5.09-S nichtinvertierender OV

Schichtwiderstand	R1	1 MΩ
Schichtwiderstand	R2	680 kΩ
Schichtwiderstand	R3	120 Ω
Lichtemitterdiode	VD	VQA 13-1
Operationsverstärker	N	B 084 D (A5)
1 Kupferstreifen	(Cu)	
1 Aluminiumstreifen	(Al)	



1) Aluminium (Al)
2) Kupfer (Cu)

Abb. 5.09-A

Wir formen um:

1. $-U_A + I(R_1 + R_2) = 0 \quad | \cdot (-1)$

$U_A - I(R_1 + R_2) = 0 \quad | + I(R_1 + R_2)$

$\underline{\underline{U_A = I(R_1 + R_2)}}$

2. $-U_E + I \cdot R_2 = 0 \quad | \cdot (-1)$

$U_E - I \cdot R_2 = 0 \quad | + I \cdot R_2$

$\underline{\underline{U_E = I \cdot R_2}}$

Da $V = \frac{U_A}{U_E}$ gilt, kann auch gesetzt werden

$$V = \frac{I(R_1 + R_2)}{I \cdot R_2}$$

$$V = \frac{R_1 + R_2}{R_2}$$

$$V = \frac{R_1}{R_2} + \frac{R_2}{R_2}$$

$$V = \frac{R_1}{R_2} + 1$$

$$V = 1 + \frac{R_1}{R_2}$$

Die Verstärkung beim nichtinvertierenden OV ist in diesem Fall immer größer als 1.
Die Beziehung zwischen Ein- und Ausgangsspannung ergibt sich aus dem Gleichsetzen der beiden Bestimmungsgleichungen für die Verstärkung:

$$\frac{U_A}{U_E} = 1 + \frac{R_1}{R_2}$$

und multipliziert mit U_E, dann kann man die Ausgangsspannung errechnen:

$$U_A = U_E + U_E \cdot \frac{R_1}{R_2}$$

In unserem dritten Versuch haben die Widerstände die Werte $R_1 = 1\ M\Omega$ und $R_2 = 680\ k\Omega$. Als Verstärkungsfaktor ergibt sich demzufolge:

$$V = 1 + \frac{R_1}{R_2}$$

$$V = 1 + \frac{1\ 000\ 000\ \Omega}{680\ 000\ \Omega}$$

$$V = 1 + 1{,}47$$

$$V = 2{,}47$$

Fassen wir die wichtigsten Eigenschaften des nichtinvertierenden OV's zusammen:

1. Eingangs- und Ausgangsspannung haben gleiche Polarität.
2. Eine angelegte Spannung kann nur verstärkt, nicht abgeschwächt werden. Entscheidend für den Verstärkungsfaktor ist das Gegenkopplungsnetzwerk nach Abb. 5.09-S, bestehend aus den Widerständen R_1 und R_2. Für den Verstärkungsfaktor V gilt:

   $$V = \frac{U_A}{U_E} = 1 + \frac{R_1}{R_2}$$

   Folgende Beziehungen bestehen:
   - Vergrößern von R_1 vergrößert den Verstärkungsfaktor,
   - Vergrößern von R_2 verkleinert den Verstärkungsfaktor
3. Der Eingangswiderstand ist extrem hoch.

5.3. Experimente mit Operationsverstärkern

Der OV ist ein so universelles Bauelement, das in sehr vielen Bereichen Anwendung findet.
In der modernen Elektronik werden immer neue Schaltungen entwickelt, in denen er eine wichtige Aufgabe zu erfüllen hat. Wir haben verschiedene Anwendungsmöglichkeiten für den OV ausgewählt.

5.3.1. Der Operationsverstärker als Komparator

"Komparator" heißt "Vergleicher", und "komparieren" heißt "vergleichen".
Wir bauen also ein Gerät, mit dem man etwas vergleichen kann. So einfach ist das, aber trotzdem müssen wir uns die Bezeichnung "Komparator" merken, denn so wird das Gerät in der Fachsprache genannt.
Wir wollen zwei sehr kleine Spannungen miteinander vergleichen und feststellen, welche Spannung größer ist. Die zu vergleichenden Spannungen liefert uns die selbstgebaute Spannungsquelle von den vorangegangenen Versuchen. Wir müssen sie noch etwas verändern, denn mit der Kupfer- und Aluminiumelektrode allein liefert sie nur eine Spannung. Zum Vergleichen benötigt man aber mindestens zwei Spannungen. Zu diesem Zweck muß noch die Stahlelektrode in die Salzlösung getaucht werden.
Es entstehen dann drei Spannungen, nämlich zwischen Kupfer- und Aluminiumelektrode (Cu - Al), zwischen Kupfer- und Stahlelektrode (Cu - Fe) und zwischen Aluminium- und Stahlelektrode (Al - Fe).

Im folgenden Versuch wollen wir zwei Spannungen miteinander vergleichen, und zwar die Spannung zwischen Kupfer- und Aluminiumelektrode mit der Spannung zwischen Kupfer- und Stahlelektrode. Wir wollen feststellen, welche der beiden Spannungen größer ist.

Was geschieht hier eigentlich?

Der OV vergleicht die Cu - Al - Spannung mit der Cu - Fe - Spannung. Kupfer bildet in beiden Fällen den Pluspol. Aluminium und Eisen (Stahl) bilden je einen Minuspol gegenüber Kupfer. An den Eingängen 2 und 3 des OV's liegen demzufolge Minuspole. Die Beträge beider Spannungen weisen aber Unterschiede auf, so daß zwischen beiden Minuspolen und damit zwischen den beiden Eingängen des OV's eine Differenzspannung ΔU (Δ - griechischer Buchstabe delta) vorhanden ist. Und auf diese kleine Differenzspannung reagiert unser OV sehr heftig. Er muß ja heftig reagieren, denn wir ha-

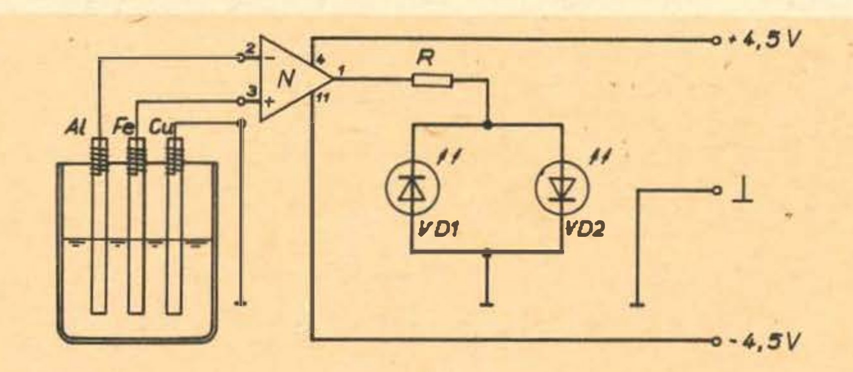
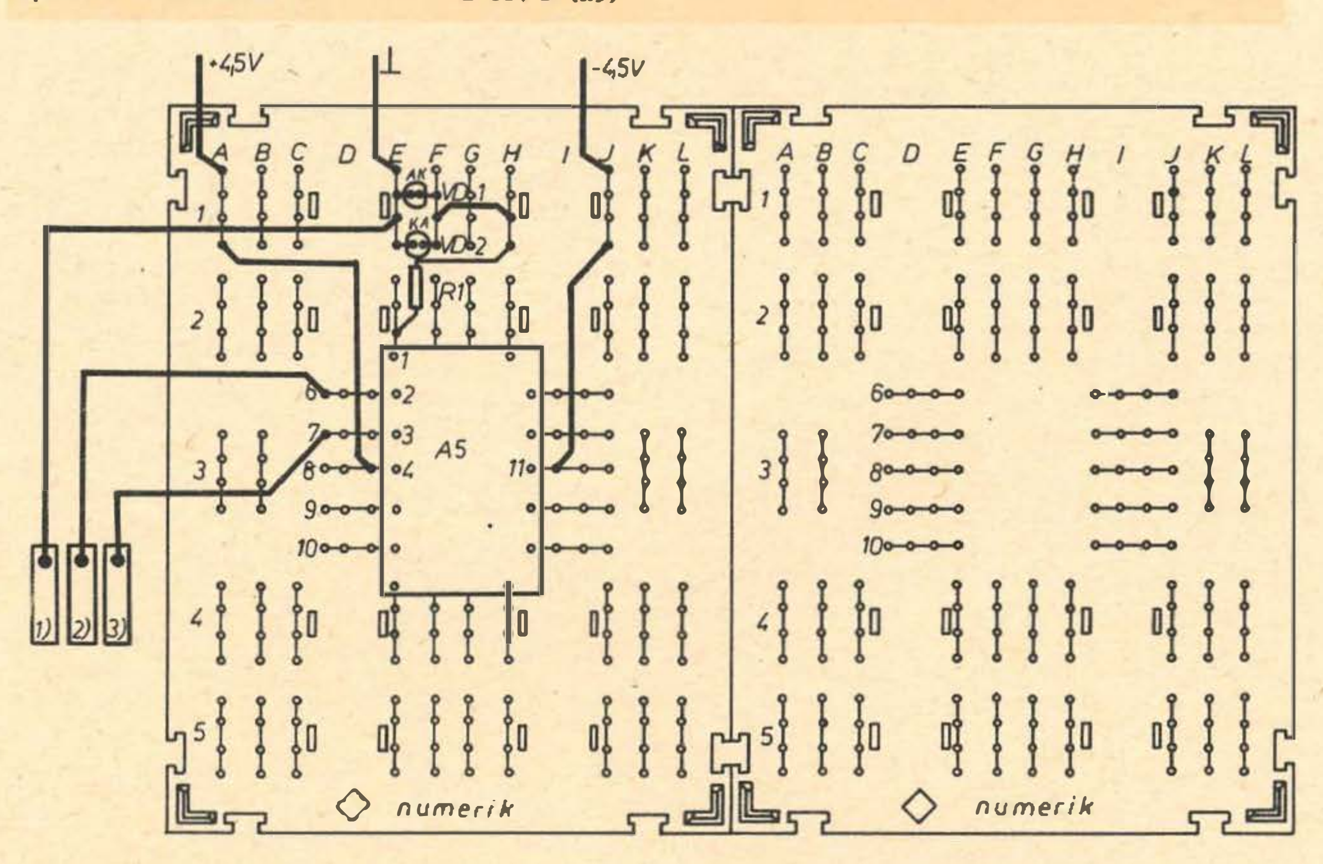


Abb. 5.10-S OV als Komperator

1 Kupferstreifen	(Cu)	
1 Aluminiumstreifen	(Al)	
1 Stahlstreifen	(Fe)	
Schichtwiderstand	R	82 Ω
Lichtemitterdiode	VD1	VQA 13-1
Lichtemitterdiode	VD2	VQA 23
Operationsverstärker	N	B 084 D (A5)



1) Kupfer Cu
2) Aluminium/Eisen (Al/Fe)
3) Eisen/Aluminium (Fe/Al)

Abb. 5.10-A

ben es ja mit einem unbeschalteten OV zu tun. Das heißt, der OV arbeitet ohne Gegenkopplung mit seiner vollen Verstärkung. Er geht auch sofort in die Sättigung, was eine der beiden LED anzeigt.
Geht er aber in die positive oder in die negative Sättigung? Vertauschen wir mal die Drähte an den Eingängen des OV's, so daß Eisen (Fe) an Eingang 2 und Aluminium (Al) an Eingang 3 kommt. Jetzt wird die andere LED leuchten. Aber weshalb eigentlich?

Hier brauchen wir wieder etwas Theorie!

Wir gehen davon aus, daß Al am invertierenden Eingang und Fe am nichtinvertierenden Eingang liegen, wie in Abb. 5.10-S dargestellt. Zuerst wollen wir einmal festhalten, daß die Spannung zwischen Cu und Al nicht gleich der Spannung zwischen Cu und Fe ist. Zwischen beiden Spannungen besteht der Spannungsunterschied Δ U. Die Spannung zwischen Cu und Al ist größer als die Spannung zwischen Cu und Fe. Das ergibt sich aus der elektrochemischen Spannungsreihe. Diese kann man in einem geeigneten Physik- oder Chemielehrbuch finden.

Es gilt demzufolge:

Spannung zwischen Cu und Al	=	Spannung zwischen Cu und Fe	+	Spannungsdifferenz Δ U

Sehen wir uns dazu Abb. 5.11 an.

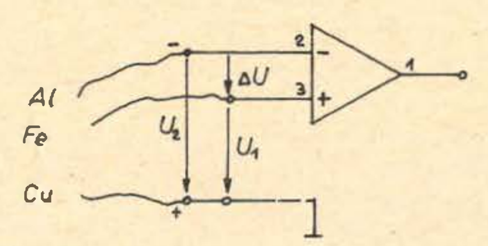


Abb. 5.11
Eingangsspannungen am Differenzverstärker

Stellen wir uns vor, die Beträge der Spannungen werden durch die Länge der Pfeillinien dargestellt. Die längere Pfeillinie stellt eine größere Spannung dar und die kürzere Pfeillinie eine kleinere Spannung.
Dann kann man setzen:

$$U_2 = U_1 + \Delta U$$
$$U_1 + \Delta U = U_2 \qquad | -U_1$$
$$\Delta U = U_2 - U_1$$

U_2 = Spannung zwischen Cu und Al,
U_1 = Spannung zwischen Cu und Fe,
ΔU = Spannungsdifferenz zwischen den beiden Eingängen des OV's und Spannung zwischen Fe und Al.

Für die Verstärkerwirkung des OV's spielt nur die Differenzspannung Δ U eine Rolle, ganz gleich, wie groß U_2 und U_1 sind. Man bezeichnet den OV daher auch als Differenzverstärker.
Als nächste Frage ergibt sich: Wo hat Δ U ihren Pluspol und wo den Minuspol?
Überlegen wir und betrachten dazu in Abb. 5.11 unsere Pfeillinien. Die Pluspole von U_2 und U_1 haben einen gemeinsamen Ausgangspunkt. Die Minuspole dagegen haben keinen gemeinsamen Endpunkt. Aluminium ist stärker negativ als Eisen. Die Pfeillinie U_2 haben wir daher länger gezeichnet als die Pfeillinie U_1.

Man kann auch sagen, Eisen (Fe) ist gegenüber Aluminium (Al) positiv. Für Δ U bedeutet das: Der Minuspol von Δ U liegt am invertierenden Eingang 2 des OV's; der Pluspol von Δ U liegt am nichtinvertierenden Eingang 3 des OV's. Minus am invertierenden Eingang ergibt Plus am Ausgang; Plus am nichtinvertierenden Eingang ergibt ebenfalls Plus am Ausgang. Der OV geht in die positive Sättigung. Demzufolge muß LED VD 2 leuchten, denn sie ist für diesen Fall in Durchlaßrichtung gepolt.
Jetzt polen wir die Eingänge um! Fe muß nun am invertierenden Eingang und Al am nichtinvertierenden Eingang liegen. Der OV geht in die negative Sättigung, was durch LED VD 1 angezeigt wird. Denn: Plus am invertierenden Eingang ergibt Minus am Ausgang und Minus am nichtinvertierenden Eingang ergibt ebenfalls Minus am Ausgang.
Damit wäre das Komparatorprinzip erklärt.
Aber stellen wir noch weitere Überlegungen an und führen einige Versuche mit dem Komparator durch.
Wir haben jetzt folgende Kenntnisse über die elektrochemische Spannungsreihe gewonnen:
Cu - Al : Cu ist positiv, Al ist negativ,
Cu - Fe : Cu ist positiv, Fe ist negativ,
Fe - Al : Fe ist positiv, Al ist negativ

Ordnen wir die drei chemischen Elemente nach dieser Erkenntnis in eine Reihe, dann muß diese Reihe wie folgt aussehen:

+ ◄—— Cu —— Fe —— Al ——► −

Abb. 5.12
Elektrochem. Spannungsreihe (unvollständig)

Aus dieser Reihe kann man die elektrochemischen Beziehungen ablesen: Von zwei Elementen ist das links stehende positiv und das rechts stehende negativ.

5.3.2. Der Operationsverstärker im Fahrzeug

Der Fahrer eines Autos kann nicht wissen, ob sein Rücklicht und sein Bremslicht immer funktionieren. Auch der gewissenhafte Fahrer, der vor jeder Fahrt die Funktion der Lichtanlage überprüft, ist während der Fahrt vor der Defekthexe nicht sicher. Die Bedeutung des Rücklichts und des Bremslichts darf nicht unterschätzt werden. Bei Versagen ist die Gefahr eines Auffahrunfalls sehr groß. Für den Fahrer ist es daher günstig, wenn das Funktionieren bzw. der Ausfall von Rücklicht und Bremslicht am Armaturenbrett angezeigt werden.
Man kann solche Kontrollschaltungen für Rücklicht und für Bremslicht mit dem OV realisieren. Allerdings zeigen wir nur das Wirkprin-

zip. Die Schaltung kann nicht ohne weiteres für die Praxis übernommen werden, denn im Auto gibt es andere Bedingungen als in unserem Baukasten. Erstens haben wir 9 Volt Gesamtspannung zur Verfügung, das Auto hat 12 Volt bzw. 6 Volt. Zweitens simulieren wir Rücklicht und Bremslicht mittels LED, die einen sehr geringen Strombedarf haben. Das Auto hat Glühlampen mit weitaus höherem Strombedarf. Dementsprechend muß der Widerstand R2 anders gewählt gewählt werden.
Drittens müssen solche Schaltungen bestimmten Vorschriften entsprechen. Vielleicht kann man dem Vater oder einem Bekannten eine Freude machen, wenn man ihnen das Wirkprinzip einer Kontrollschaltung für Rücklicht und einer Kontrollschaltung für Bremslicht vorführen und erklären kann.
Der OV arbeitet in beiden Schaltungen als Komparator!

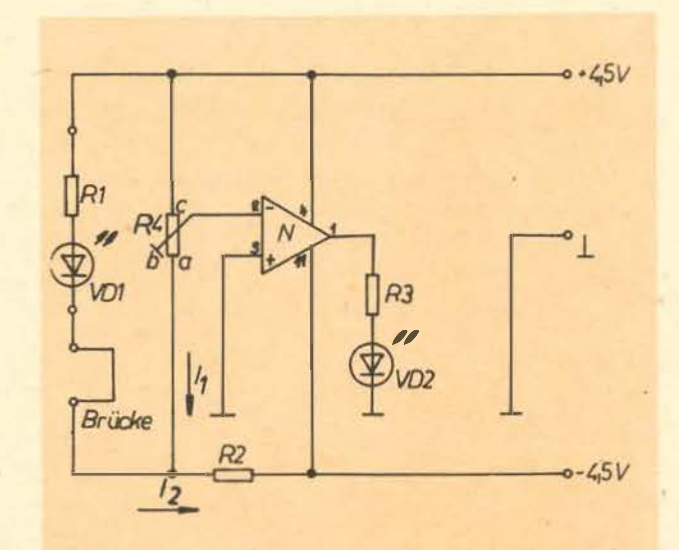


Abb. 5.13-S Rücklichtkontrollschaltung

Schichtwiderstand	R1	510 Ω	
Schichtwiderstand	R1	120 Ω	
Schichtwiderstand	R3	160 Ω	
Schichtdrehwiderstand	R4	10 kΩ	(A4)
Lichtemitterdiode	VD1	VQA 13-1	
Lichtemitterdiode	VD2	VQA 23	
Operationsverstärker	N	B 084 D	(A5)

5.3.2.1. Eine Kontrolle für das Rücklicht

Anforderungen an die Kontrollschaltung: Eine Unterbrechung im Rücklichtstromkreis - sei es durch eine defekte Leitung, eine defekte Verbindungsstelle oder eine defekte Glühlampe - soll bei eingeschalteter Lichtanlage am Armaturenbrett angezeigt werden.
Baue folgende Schaltung auf!

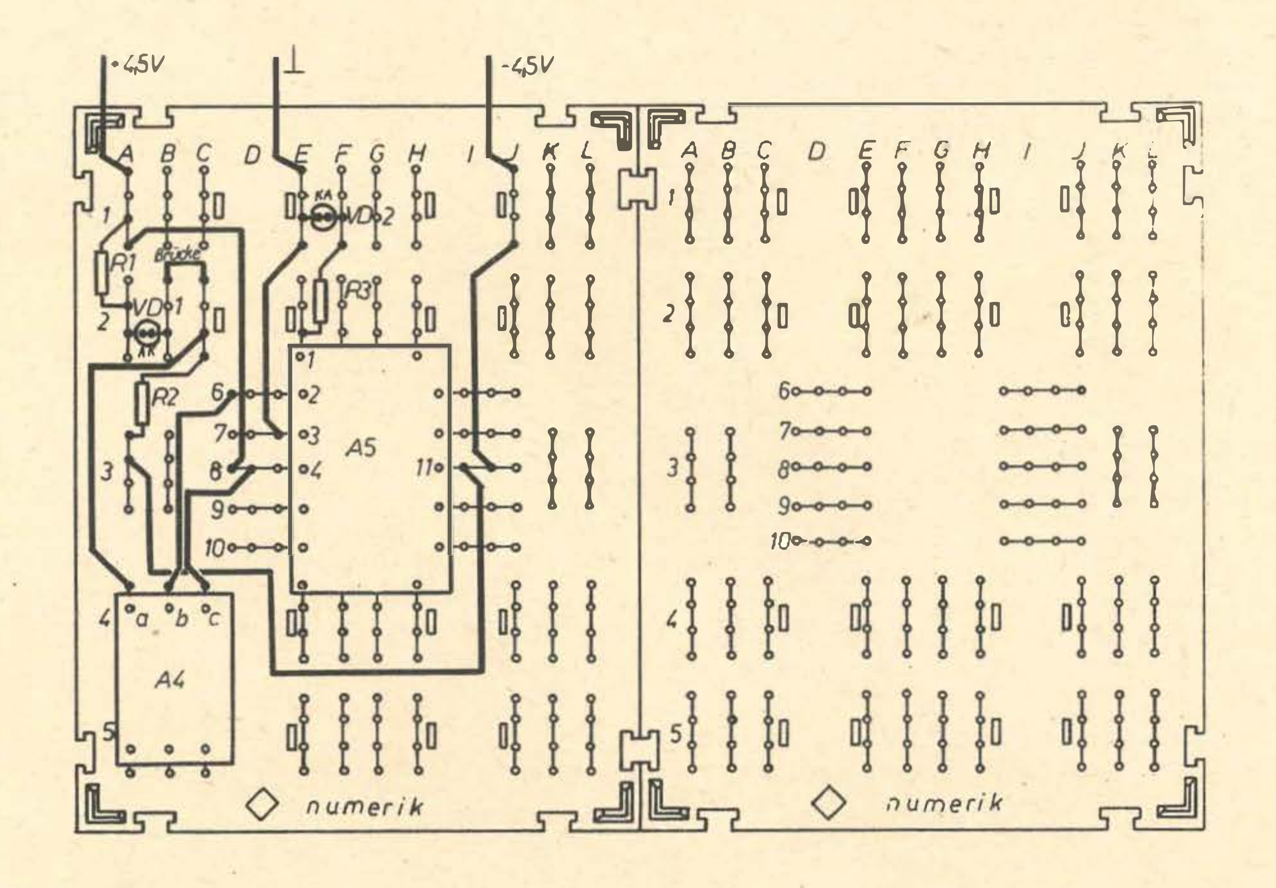


Abb. 5.13-A

In der Schaltung stehen
- die Kombination R1 - VD 1 stellvertretend für eine Rücklichtlampe,
- die LED VD 2 als Anzeigelampe im Armaturenbrett des Autos.

Nach Anschließen der Betriebsspannung muß das Rücklicht LED VD 1 leuchten. Mit dem Schichtdrehwiderstand kann man LED VD 2 dazu bringen, zu leuchten oder nicht zu leuchten. Wir stellen den Schichtdrehwiderstand so ein, daß LED VD 2 gerade erlischt. Der invertierende Eingang des Operationsverstärkers erhält dann eine geringe positive Spannung, so daß der OV in die negative Sättigung geht.
Jetzt simulieren wir eine Unterbrechung im Rücklichtstromkreis, indem wir die Brücke herausnehmen. Sofort muß VD 2, die Anzeige am Armaturenbrett leuchten und den Defekt anzeigen.
Wie funktioniert das?
Der Widerstand R2 und der Schichtdrehwiderstand R4 bilden einen Spannungsteiler. Durch den Widerstand R2 fließen zwei Teilströme: der Teilstrom I_1 und der Teilstrom I_2. Die Summe beider Teilströme verursacht einen Spannungsabfall $U = I_1 \cdot R_2 + I_2 \cdot R_2$. Mit Herausnahme der Brücke entfällt der Teilstrom I_2. Der Spannungsabfall am Widerstand R2 verringert sich, er hat nur noch die Größe $U = I_1 \cdot R_2$.
Mit dem kleiner werdenden Spannungsabfall an R2 verschiebt sich das Spannungspotential am Anschluß b des Schichtdrehwiderstandes R4 nach Minus. Der invertierende Eingang des OV's erhält jetzt eine geringe negative Eingangsspannung (gegenüber Masse). Der OV geht sofort von der negativen in die positive Sättigung, und LED VD 2 leuchtet. Die Anzeige am Armaturenbrett des Autos zeigt den Defekt an.

5.3.2.2. Eine Kontrolle für das Bremslicht

Anforderungen an die Kontrollschaltung: Eine Unterbrechung im Bremslichtstromkreis - sei es durch eine defekte Leitung, eine defekte Verbindungsstelle oder eine defekte Glühlampe - soll bei Betätigung des Bremspedals am Armaturenbrett angezeigt werden.

Baue folgende Schaltung auf (bzw. verändere die Schaltung von Abb. 5.13 wie folgt):

In der Schaltung stehen
- die Kombination R1 - VD 1 stellvertretend für eine Bremslichtlampe,
- die LED VD 2 als Anzeigelampe im Armaturenbrett des Autos.

Der Unterschied zur Schaltung nach Abb. 5.13 besteht darin, daß Taster S hinzugekommen ist und daß LED VD 2 umgepolt wurde. Wenn die Betriebsspannung angeschlossen ist, darf das Bremslicht noch nicht leuchten. Erst wenn das Bremspedal betätigt wird, und damit gleichzeitig der Bremslichtschalter S, muß das Bremslicht aufleuchten und bei Lösen der Bremse wieder verlöschen.

Jetzt stellen wir den Schichtdrehwiderstand so ein, daß LED VD 2 (die Anzeige am Armaturenbrett des Autos) gerade verlischt. Der invertierende Eingang des OV's erhält dann eine geringe negative Spannung, so daß der OV in die positive Sättigung geht.
Wir betätigen das Bremspedal! Beide LED müssen leuchten, also das Bremslicht (VD 1) und die Funktionsanzeige (VD 2).
Jetzt simulieren wir eine Unterbrechung im Bremslichtstromkreis, indem wir die Brücke herausnehmen. Wenn man jetzt das Bremspedal betätigt, dann dürfen weder LED VD 1 noch LED VD 2 leuchten. Der Fahrer kann erkennen, daß sein Bremslicht defekt ist, weil die Kontrollanzeige keine einwandfreie Funktion signalisiert.
Was geschieht hier?
Auch hier spielt der Spannungsteiler, bestehend aus Widerstand R2 und Schichtdrehwiderstand R4.eine wichtige Rolle. Der Spannungsabfall am Widerstand R2 ist bei unbetätigtem Bremspedal $U = I_1 \cdot R_2$. Bei Betätigung des Bremspedals wird der Spannungsabfall am Widerstand R2 durch den hinzukommenden Teilstrom I_2 größer. Er beträgt jetzt $U = I_1 \cdot R_2 + I_2 \cdot R_2$.
Mit dem größer werdenden Spannungsabfall an R2 verschiebt sich das Spannungspotential am Anschluß b des Schichtdrehwiderstandes R4 nach Plus. Der invertierende Eingang des OV's erhält jetzt eine geringe positive Eingangsspannung (gegenüber Masse). Der OV geht sofort von der positiven Sättigung in die negative Sättigung, was LED VD 2 anzeigt. Am Armaturenbrett ist somit die Funktion des Bremslichtes erkennbar. Läßt man das Bremspedal los, dann öffnet S und I_2 entfällt. Der OV geht sofort wieder in die positive Sättigung und LED VD 2 verlischt ebenfalls. Ist ein Defekt vorhanden, durch den das Bremslicht nicht leuchten kann, dann kommt der Teilstrom I_2 nicht zustande und LED VD 2 bleibt dunkel.
Wir sehen uns beide Schaltungen noch einmal genau an und versuchen uns darüber klar zu werden, daß mit geringen Unterschieden im Schaltungsaufbau unterschiedliche Funktionen realisiert werden.
Hier noch einmal die Unterschiede:

- LED VD 2 ist jeweils andere gepolt. Sie zeigt einen Defekt an
  a) beim Rücklicht durch Aufleuchten,
  b) beim Bremslicht durch Nichtaufleuchten.

- Der OV befindet sich im Ruhestand
  a) beim Rücklicht in der negativen Sättigung,

b) beim Bremslicht in der positiven Sättigung.

- Der OV befindet sich im Arbeitszustand
  a) beim Rücklicht in der positiven Sättigung,
  b) beim Bremslicht in der negativen Sättigung.

- Der Schichtdrehwiderstand R4 wird so abgeglichen, daß
  a) beim Rücklicht eine geringe positive Spannung (gegenüber Masse) am invertierenden Eingang des OV's liegt, die durch den wegfallenden Teilstrom I_2 in eine geringe negative Spannung (gegenüber Masse) gewandelt wird,
  b) beim Bremslicht eine geringe negative Spannung (gegenüber Masse) am invertierenden Eingang des OV's liegt, die durch den hinzukommenden Teilstrom I_2 in eine geringe, positive Spannung (gegenüber Masse) gewandelt wird.

Taster	S		
Schichtwiderstand	R1	510 Ω	
Schichtwiderstand	R2	120 Ω	
Schichtwiderstand	R3	160 Ω	
Schichtdrehwiderstand	R4	10 k Ω	(A4)
Lichtemitterdiode	VD1	VQA 13-1	
Lichtemitterdiode	VD2	VQA 23	
Operationsverstärker	N	B 084 D	(A5)

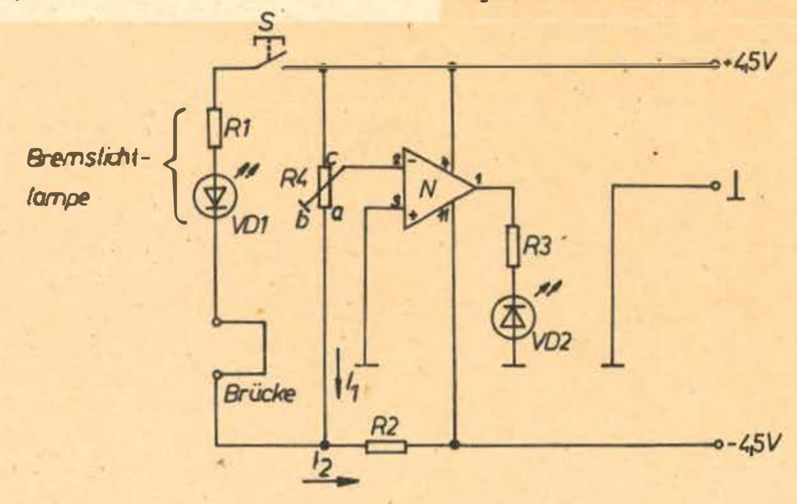


Abb. 5.14-S Bremslichtkontrollschaltung

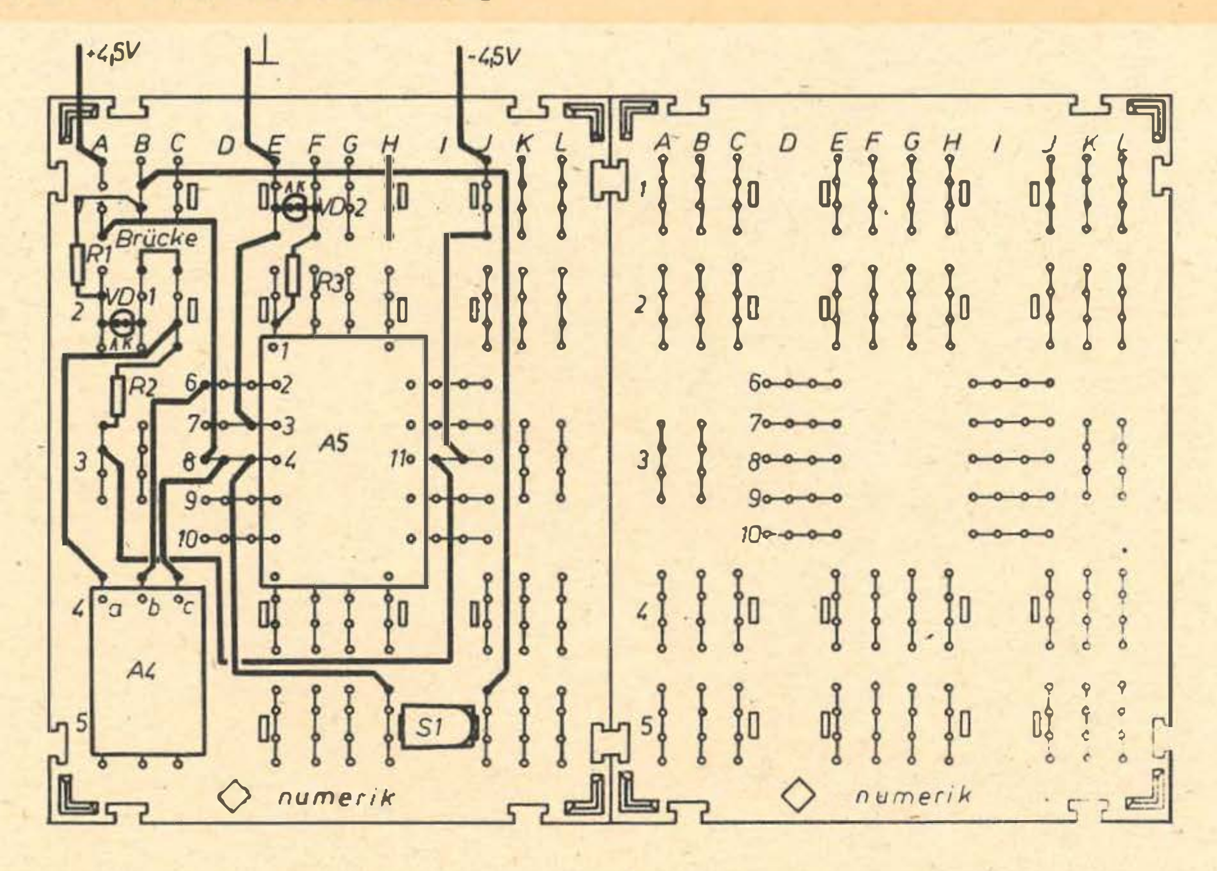


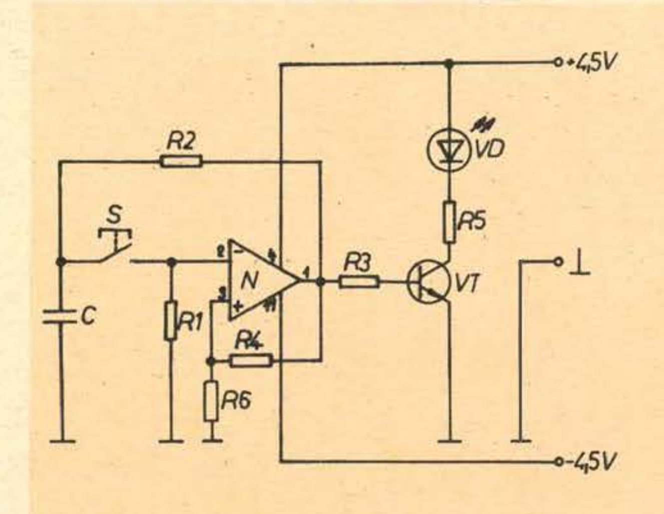
Abb. 5.14-A

5.3.3. Ein Stromstoßschalter

Wir wollen eine Signallampe per Knopfdruck mit Hilfe eines Tasters ein- und ausschalten können. Die Signallampe muß so lange leuchten, bis der Taster erneut betätigt wird. Zu diesem Zweck ist zwischen Taster und Signallampe eine Schaltung notwendig, die das Ein- und Ausschalten der Signallampe besorgt. Diese muß wie ein Stromstoßschalter funktionieren, d. h. ein durch Tasterdruck eingegebener Stromstoß hat ein Schalten zur Folge.

In dieser Schaltung hat unser OV eine wichtige Funktion: Er arbeitet als Schmitt-Trigger. Vom Abschnitt 4.1. her wissen wir, daß ein Schmitt-Trigger ein elektronischer Schalter ist, der beim Überschreiten einer in ihrer Höhe definierten Eingangsspannung schaltet und beim Unterschreiten dieser Eingangsspannung wieder zurückschaltet.

Baue folgende Schaltung auf und überprüfe ihre Funktion als Stromstoßschalter!



Taster	S	
Schichtwiderstand	R1	2,7 kΩ
Schichtwiderstand	R2	330 kΩ
Schichtwiderstand	R3	680 Ω
Schichtwiderstand	R4	510 Ω
Schichtwiderstand	R5	120 Ω
Schichtwiderstand	R6	3,3 kΩ
Kondensator	C	100 nF
Lichtemitterdiode	VD	VQA 13-1
Transistor	VT	SC 236 E (A2)
Operationsverstärker	N	B 084 D (A5)

Abb. 5.15-S Stromstoßschalter

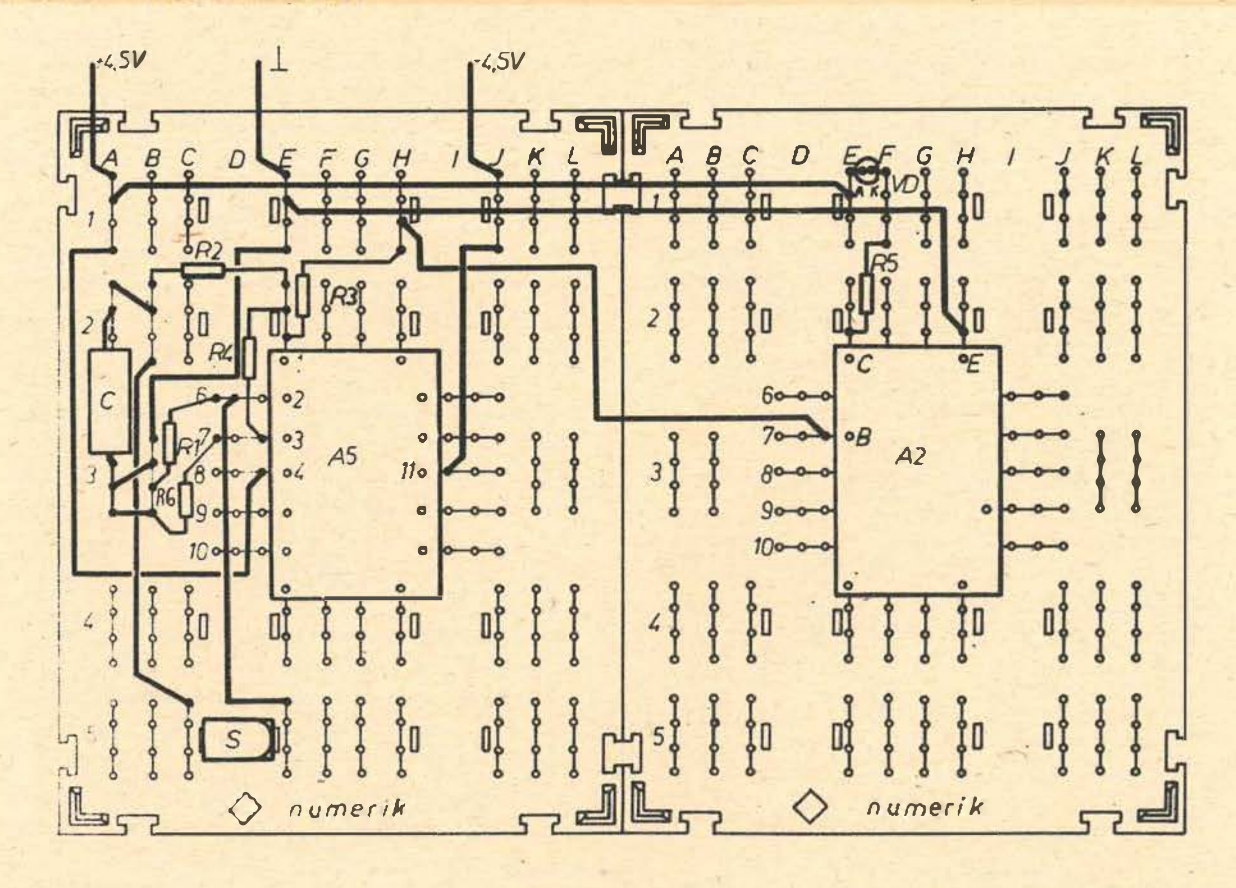


Abb. 5.15-A

Der Stromstoß wird über den Taster S eingegeben. Die LED hat die Funktion der Signallampe. Aber wie funktioniert nun eigentlich der Stromstoßschalter?

Zum besseren Verständnis zerlegen wir gedanklich die Schaltung nach Abb. 5.15-S in Bau-

gruppen und versuchen, die Funktion dieser Baugruppen zu verstehen.
Zuerst zur Baugruppe: Transistor, LED, Widerstand R5 und Widerstand R3 (Abb. 5.16).

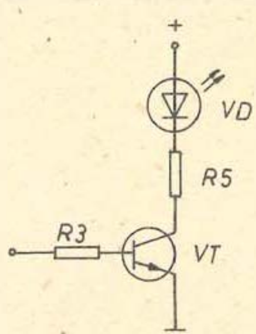


Abb. 5.16
Endstufe aus Abb. 5.15

Alle Kenntnisse, die wir zum Verständnis der Funktion dieser Baugruppe benötigen, haben wir uns bereits erarbeitet. Wir können uns daher kurz fassen. Sollten dennoch Schwierigkeiten auftauchen, dann lesen wir noch einmal im Abschnitt 2.4.2. nach.

- Der Widerstand R5 dient zur Strombegrenzung, damit die LED nicht durch einen zu großen Strom zerstört wird.
- VT ist ein Siliziumtransistor (npn-Transistor). Er wird dann leitend, wenn die Basis über den Widerstand R3 Pluspotential erhält (Alle Potentiale beziehen sich immer auf Masse). Dann fließt ein Kollektor-Emitter-Strom und die LED leuchtet. Erhält die Basis über R3 Minuspotential, dann fließt kein Kollektor-Emitter-Strom und die LED leuchtet nicht.

Damit ergibt sich schon die Forderung, die an den Ausgang des OV's gestellt ist: Der Ausgang muß wechselnd Pluspotential und Minuspotential annehmen, damit der Transistor die LED ein- und ausschalten kann.
Bis hierher haben wir wahrscheinlich alles leicht verstanden. Doch jetzt wird es etwas schwieriger, denn es
muß das Plus- bzw. Minuspotential am Ausgang des OV's auch erhalten bleiben, wenn der Taster losgelassen wird
und es
muß das Umschalten vom Pluspotential auf Minuspotential und umgekehrt immer mit ein- und derselben Taste erfolgen.

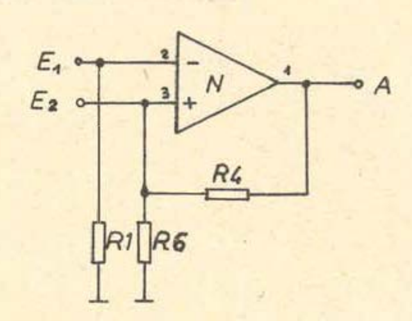


Abb. 5.17
OV-Beschaltung aus Abb. 5.15

Sehen wir uns die zweite Baugruppe an, den OV (Abb. 5.17). Der Einfachheit wegen lassen wir die Stromversorgung ($+U_B$ und $-U_B$) weg.

- Geben wir am invertierenden Eingang E 1 Minuspotential ein, dann wird der Ausgang positiv.
  Verschwindet das Minuspotential am invertierenden Eingang E 1 (durch Loslassen des Tasters), dann bleibt der Ausgang positiv, denn Pluspotential liegt dann über dem Widerstand R4 am nichtinvertierenden Eingang E2 und sorgt dafür, daß alles so bleibt.
- Geben wir am invertierenden Eingang E 1 Pluspotential ein, dann wird der Ausgang negativ.
  Verschwindet das Pluspotential am invertierenden Eingang E 1(durch Loslassen des Tasters), dann bleibt der Ausgang negativ, denn Minuspotential liegt dann über dem Widerstand R4 am nichtinvertierenden Eingang E2 und sorgt dafür, daß alles so bleibt.

In der Elektrotechnik bezeichnet man eine solche Schaltung als Selbsthalteschaltung, denn ein einmal vorgegebener Zustand wird selbst gehalten.
Realisiert wird diese Funktion hier durch einen Schmitt-Trigger mit großer Hysterese, d. h. mit großem Abstand der Schaltschwellen. Wo liegen nun diese Umschaltpunkte?
Im Wesentlichen werden sie durch den Spannungsteiler $R_6 - R_4$ bestimmt, welcher einen Teil der Ausgangsspannung des OV's auf den nichtinvertierenden Eingang (E2) rückkoppelt:

$$U_{E2} = U_A \cdot \frac{R_6}{R_6 + R_4}$$

Da der OV ohne Gegenkopplung betrieben wird (keine Rückführung vom Ausgang auf den invertierenden Eingang E1) befindet sich der Ausgang in einem der beiden Sättigungszustände. Wir nehmen die positive Sättigung an. Daraus ergibt sich: $U_A \approx +4{,}2$ V. Die Widerstandswerte entnehmen wir dem Schaltplan Abb. 5.15-S. (R4 = 510 Ω , R6 = 3,3 kΩ). Mit diesen Werten ergibt sich:

$$U_{E2} = +4{,}2\ \text{V} \cdot \frac{3{,}3\ \text{k}\Omega}{3{,}81\ \text{k}\Omega} = \underline{\underline{3{,}64\ \text{V}}}$$

Die Eingangsspannung am nichtinvertierenden Eingang liegt bei ungefähr +3,6 V. Soll nun der Ausgang des OV's in die negative Sättigung schalten muß die Spannung am invertierenden Eingang (E1) positiver als +3,6 V werden. Ein Umschalten des Ausgangs bedeutet aber, daß der nichtinvertierende Eingang (E2) über den Spannungsteiler $R_4 - R_6$ eine Spannung von -3,6 V erhält. Die Spannung am invertierenden Eingang ist nun mit Sicherheit positiver als die am nichtinvertierende Eingang. Deshalb bleibt der neue Zustand erhalten, auch wenn die Spannung am invertierenden Eingang auf 0 V absinkt. Ein Rückschalten in die positive Sättigung erfolgt

nur, wenn der invertierende Eingang eine negativere Spannung erhält als -3,6 V, die nun am nichtinvertierenden Eingang anliegt.
Der Schaltvorgang läuft wie oben beschrieben ab, lediglich mit umgekehrter Polarität der Spannungen.
In der Rechentechnik bezeichnet man eine Schaltung mit dieser Eigenschaft als Speicher, denn durch sie kann eine einmal eingegebene Information beliebig lange gespeichert werden.
Damit wäre die zweite Baugruppe erklärt. Beschäftigen wir uns mit der dritten Baugruppe, durch die die Schaltbefehle dem OV eingegeben werden müssen.
Wir werden erkannt haben, daß der invertierende Eingang des OV's durch den Taster abwechselnd Plus- bzw. Minuspotential erhalten muß, damit der OV dem Transistor entsprechende Schaltbefehle geben kann.
Aber wie kann man mit ein- und demselben Taster einmal Plus und beim nächsten Mal Minus usw. eintasten?
Der OV übernimmt zusammen mit dem Kondensator C die Aufgabe, dem Taster Plus oder Minus zu liefern, und der Taster braucht es nur noch an den invertierenden Eingang des OV's weiterzugeben. Sehen wir uns dazu Abb. 5.18 an. Der Einfachheit wegen lassen wir wieder die Stromversorgung ($+U_B$ und $-U_B$) weg.

- Ist der Ausgang des OV's positiv, dann wird bei geöffnetem Taster S der Kondensator C über den Widerstand R2 so geladen, daß der obere Anschluß des Kondensators Plus erhält. Wird der Taster geschlossen, dann gelangt Plus vom Kondensator an den invertierenden Eingang E1 des OV's. Als Folge wird der Ausgang des OV's negativ.
- Ist der Ausgang des OV's negativ, dann wird bei geöffnetem Taster der Kondensator C über den Widerstand R2 so geladen, daß der obere Anschluß des Kondensators Minus erhält. Wird der Taster geschlossen, dann gelangt Minus vom Kondensator an den invertierenden Eingang E1 des OV's. Als Folge wird der Ausgang des OV's positiv.

In gleicher Reihenfolge lassen sich die Vorgänge beliebig oft wiederholen.

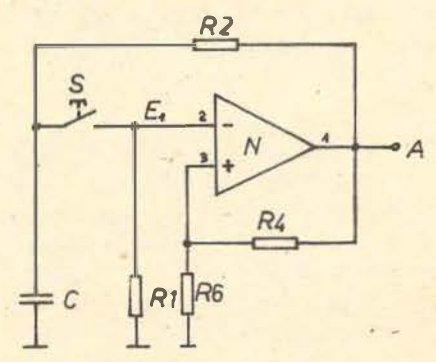


Abb. 5.18
Schaltungsauszug aus Abb. 5.15 zur Erläuterung der Signaleingabe

5.3.4. Der Operationsverstärker als Mono-Flop

Wieder eine neue Aufgabe für den OV!

Er kann auch als Mono-Flop arbeiten. Was ein Mono-Flop ist, wissen wir sicher noch vom Abschnitt 4.2. her. Dort haben wir eine Mono-Flop-Schaltung mit Transistoren beschrieben.
Wir charakterisierten das Mono-Flop wie folgt:

- Das Mono-Flop ist eine monostabile Kippstufe. Es hat einen stabilen (Ruhe-) Zustand und einen Arbeitszustand, der nicht stabil ist. Nach Auslösung des Arbeitszustandes kehrt es immer wieder in den stabilen Zustand zurück, aber nicht sofort, sondern mit Zeitverzug.

- Die Umschaltung vom stabilen Zustand in den Arbeitszustand geschieht durch Einwirkung von außen, durch eine Eingangsspannung, die nur kurzzeitig als Impuls einzuwirken braucht.

- Die Rückschaltung vom Arbeitszustand in den stabilen Zustand erfolgt automatisch, wobei der Zeitverzug durch ein R-C-Glied erreicht wird.

- Maßgebliche Größe für den Zeitverzug ist die Zeitkonstante des R-C-Gliedes.

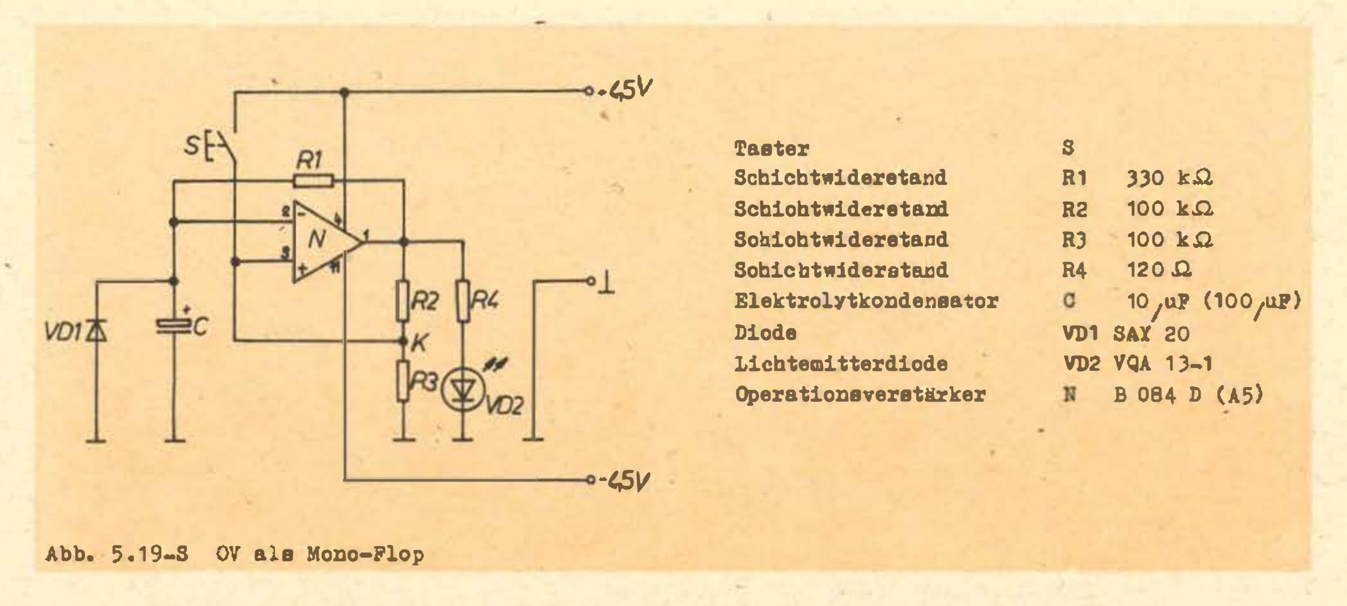
Diese Charakteristik trifft selbstverständlich auch für ein Mono-Flop zu, das statt mit Transistoren mit einem OV arbeitet.

Baue die Schaltung nach Abb. 5.19 auf und überprüfe ihre Funktion als Mono-Flop!
Die Einwirkung von außen, die das Mono-Flop vom stabilen Zustand in den Arbeitszustand kippt, erfolgt durch den Taster S. Durch den Taster wird der kurzzeitige Spannungsimpuls gegeben. Den Arbeitszustand zeigt die LED VD2 an. Solange sie leuchtet, befindet sich das Mono-Flop in diesem Zustand. Schaltet das Mono-Flop in den stabilen Zustand zurück, dann geht sie aus.

Wir wollen auch in diesem Versuch die Schaltung analysieren und feststellen, was den OV veranlaßt, als Mono-Flop zu arbeiten. Zum besseren Verständnis der Wirkungsweise der Schaltung unterteilen wir einen vollen Schaltvorgang in drei Phasen und stellen fest, was in jeder Phase geschieht.

1. Phase: Der stabile (Ruhe-) Zustand

Im stabilen Zustand liegt am Ausgang des OV's eine negative Spannung. Diese Spannung entspricht ungefähr $- U_B$, denn der OV befindet sich in der negativen Sättigung. LED VD 2 ist so geschaltet, daß sie bei negativer Spannung am Ausgang des OV's nicht leuchten kann. Ein Teil der negativen Spannung wird über den



Taster	S	
Schichtwiderstand	R1	330 kΩ
Schichtwiderstand	R2	100 kΩ
Schichtwiderstand	R3	100 kΩ
Schichtwiderstand	R4	120 Ω
Elektrolytkondensator	C	10 µF (100 µF)
Diode	VD1	SAY 20
Lichtemitterdiode	VD2	VQA 13-1
Operationsverstärker	N	B 084 D (A5)

Abb. 5.19-S OV als Mono-Flop

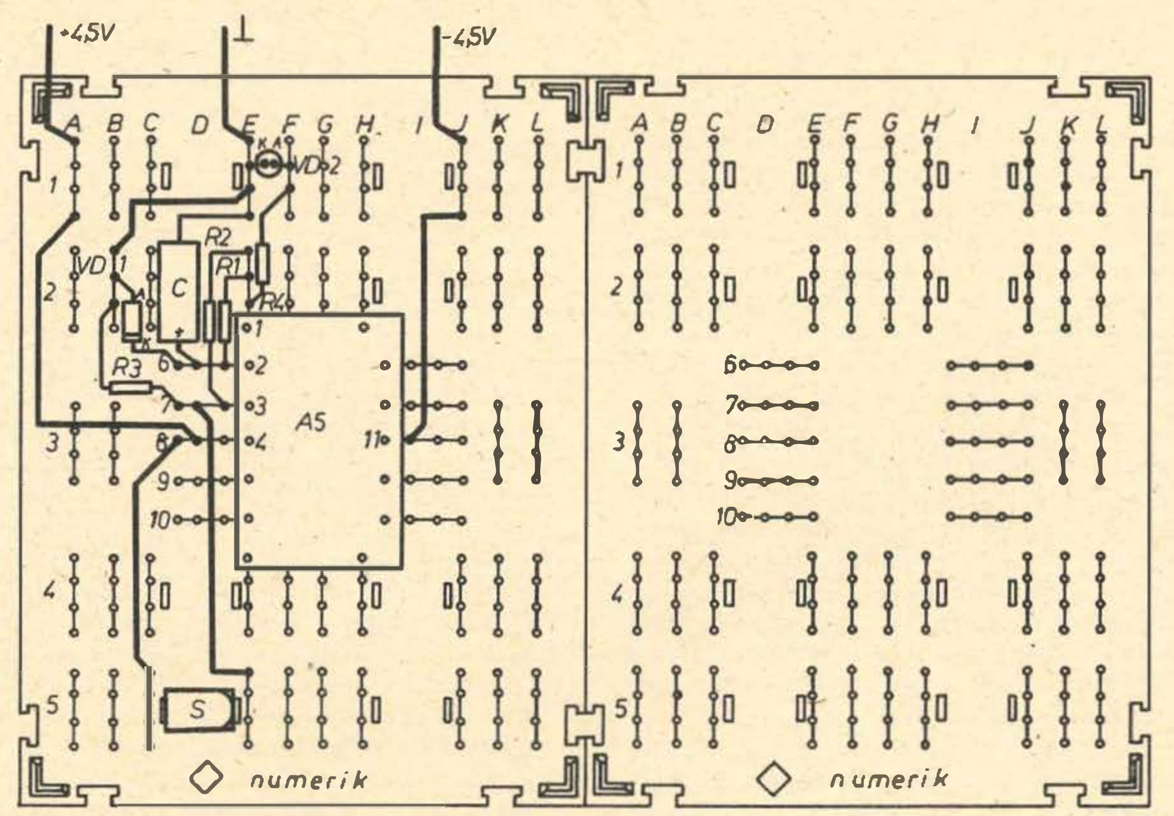


Abb. 5.19-A

Spannungsteiler R2-R3 dem nichtinvertierenden Eingang des OV's zugeführt. Dadurch wird der OV in der negativen Sättigung und damit das Mono-Flop im Ruhezustand gehalten. Allerdings könnte der invertierende Eingang des OV's über den Widerstand R1 ebenfalls Minuspotential erhalten, was den OV veranlassen könnte, in die positive Sättigung zu gehen. Könnte - kann aber nicht! Die Diode VD 1 ist in dieser Phase in Durchlaßrichtung gepolt und schließt den invertierenden Eingang gegen Masse kurz. Damit liegt "Masse" am invertierenden Eingang, und "Masse" ist gegenüber dem Spannungsteilerabgriff K positiv. Die Spannung zwischen den beiden Eingängen des OV's hat also ihren Pluspol am invertierenden und ihren Minuspol am nichtinvertierenden Eingang. Damit ist der Zustand des OV's stabil.

2. Phase: Eingabe eines Spannungsimpulses - das Mono-Flop kippt in den Arbeitszustand

Drückt man den Taster, so erhält der nichtinvertierende Eingang des OV's Pluspotential. Gegenüber diesem Pluspotential ist Masse negativ. Die Polarität der Spannung zwischen den Eingängen des OV's hat also gewechselt. Als Folge geht der OV in die positive Sättigung, LED VD 2 leuchtet, das Mono-Flop befindet sich im Arbeitszustand.

3. Phase: Der Arbeitszustand

Die Arbeitsphase ist - wie der Name sagt - die Phase, in welcher das Mono-Flop etwas zu tun hat, wie eine Information zu speichern oder ein Signal zu geben.
Zum Beispiel ist jeder Treppenlichtautomat ein Mono-Flop, denn betätigt man den Lichttaster im Treppenhaus, dann geht der Automat in die Arbeitsphase und läßt das Licht eine Zeit lang eingeschaltet (wie in unserem Beispiel die LED). Eine bestimmte Zeit lang! Demzufolge muß bereits mit Beginn der Arbeitsphase im Mono-Flop etwas vor sich gehen: Die Rückschaltautomatik wird sofort aktiv.

Aber gehen wir der Reihe nach vor.

Der Taster S ist wieder geöffnet. Der OV bleibt trotzdem in der positiven Sättigung, denn diesmal wird über den Spannungsteiler R2-R3 positive Teilspannung an den nichtinvertierenden Eingang des OV's gegeben. Damit wird das Mono-Flop im Arbeitszustand gehalten. Für den nichtinvertierenden Eingang ist demzufolge auch kein Signal zur Rückschaltung des Monoflops in den stabilen (Ruhe-) Zustand zu erwarten.
Die Rückschaltautomatik kann demzufolge nur auf den invertierenden Eingang einwirken. Es ergeben sich zwei Fragen:

1. Wie muß das Rückstellsignal beschaffen sein, das den OV veranlassen kann, wieder in die negative Sättigung zu gehen? und
2. Welche Bauteile bilden die Rückschaltautomatik und wie funktioniert sie?

Wenden wir uns der ersten Frage zu. Wir haben festgestellt, daß am nichtinvertierenden Eingang ein gegenüber Masse positives Potential liegt. Wenn es uns gelänge, an den invertierenden Eingang des OV's ein gegenüber Masse größeres positives Spannungspotential zu legen, dann käme das einem Polaritätswechsel der Spannung zwischen den beiden Eingänge des OV's gleich. Das würde den OV veranlassen, in die negative Sättigung umzuschalten.
Damit steht die Aufgabe für die Rückschaltautomatik: Ein positives Spannungspotential für den invertierenden Eingang erzeugen, das grösser ist als das, welches am nichtinvertierenden Eingang anliegt!
Nun zur zweiten Frage. Die Rückschaltautomatik besteht aus einem R-C-Glied, und das wird vom Widerstand R1 und vom Kondensator C gebildet. Aber da ist auch noch die Diode VD1 parallel zum Kondensator! Wie funktioniert denn das nun eigentlich?
Solange vom Ausgang des OV's über den Widerstand R1 negatives Spannungspotential anlag, konnte sich der Kondensator nicht aufladen. Das verhinderte die Diode VD1. Sie war für diesen Fall in Durchlaßrichtung gepolt und überbrückte den Kondensator, schloß ihn kurz. Aber nach Betätigen des Tasters kam ja positives Potential über den Widerstand R1.
Die Diode VD1 kann bei dieser Polarität der anliegenden Spannung nicht wirksam werden, denn sie ist jetzt in Sperrichtung gepolt. Tun wir daher so, als sei sie nicht vorhanden. Es interessieren also nur der Widerstand R1 und der Kondensator C.
Mit Erscheinen des Pluspotentials über dem Widerstand R1 beginnt sich der Kondensator sofort aufzuladen.
Wie dies abläuft kann bei Bedarf nochmals im Kapitel "Kondensator" nachgelesen werden.
Als Ergebnis der Ladung verschiebt sich das Spannungspotential am invertierenden Eingang langsam in Richtung Plus.
Schließlich wird der Moment erreicht, wo das positive Spannungspotential am invertierenden Eingang größer ist als das am nichtinvertierenden Eingang. Und da passiert es! Die Spannung zwischen den beiden Eingängen des OV's wechselt in diesem Moment ihre Polarität, denn das größere Potential ist Plus und das kleinere Minus. Der OV schaltet um in die negative Sättigung. Der stabile (Ruhe-) Zustand des Mono-Flops ist wieder erreicht.

5.3.5. Ein bistabiler Multivibrator steuert eine Blinkanlage

Die Aufgabe besteht darin, eine Blinkanlage zu bauen, die per Knopfdruck ein- und ausgeschaltet werden kann. Zum Ein- und Ausschalten steht je ein Taster zur Verfügung. Ist die Blinkanlage eingeschaltet, dann sollen zwei Signallämpchen (LED VD2 - rot und LED VD3 - grün) abwechselnd aufleuchten. Ist der Blinkgeber abgeschaltet, dann soll das rote Signallämpchen (LED VD2) ständig leuchten.

Baue die Schaltung nach Abb. 5.20 auf und überprüfe ihre Funktion entsprechend der Aufgabenstellung!

Beachte:
- Nicht beide Taster zugleich betätigen. Wir verursachen sonst einen Kurzschluß, und die Monozellen sind nach kurzer Zeit entladen.
- N1 bedeutet OV Nr. 1 und N2 bedeutet OV Nr. 2. Die Kennzeichnung ist nur wichtig, damit man bei den folgenden Erklärungen weiß, welcher OV jeweils gemeint ist.
- Im Stromlaufplan wird die Stromversorgung symbolisch nur an einem OV eingezeichnet, obwohl natürlich alle im Schaltkreis B 084 D enthaltenen OV ihre Betriebsspannung über die Pin's 4 und 11 erhalten (vgl. Abb. 5.05).

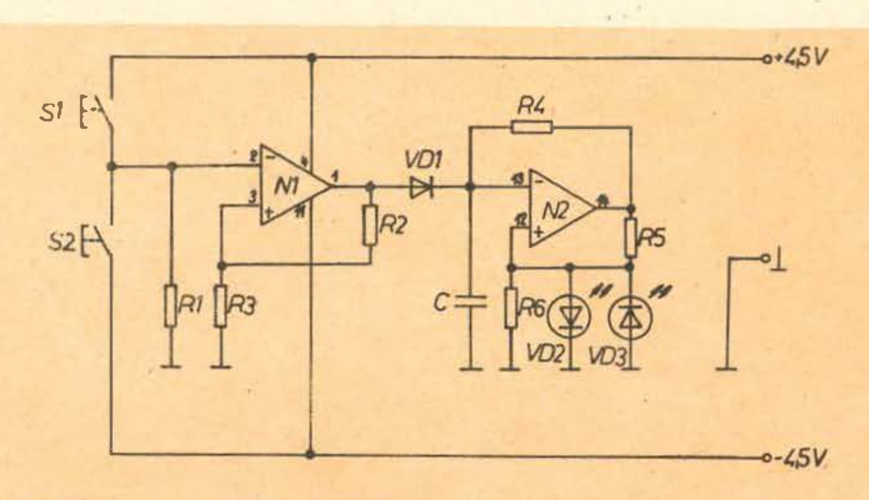


Abb. 5.20-S mit OV gesteuerte Blinkanlage

Taster	S1,S2	
Schichtwiderstand	R1	680 Ω
Schichtwiderstand	R2	160 Ω
Schichtwiderstand	R3	510 Ω
Schichtwiderstand	R4	1 MΩ
Schichtwiderstand	R5	120 Ω
Schichtwiderstand	R6	1,5 kΩ
Kondensator	C	100 nF
Diode	VD1	SAY 20
Lichtemitterdiode	VD2	VQA 13-1
Lichtemitterdiode	VD3	VQA 23
Operationsverstärker	N1,N2	B 084 D (A5)

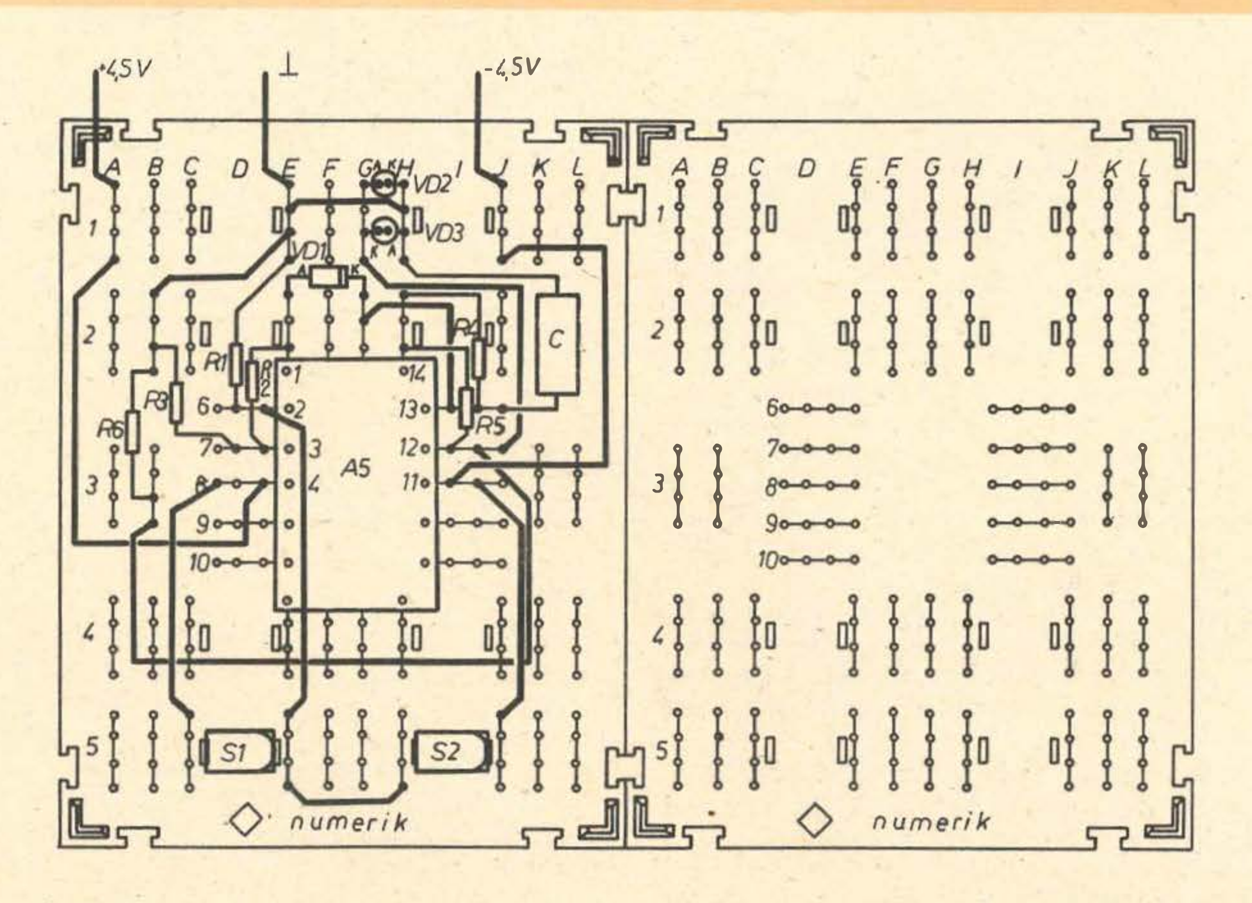


Abb. 5.20-A

Zur Funktion der Schaltung:

- N1 arbeitet als bistabiler Multivibrator (Flip-Flop), der ausgangsseitig einen Blinkgeber ein- und ausschaltet.
- N2 arbeitet als Blinkgeber, der von einem Flip-Flop ein- und ausgeschaltet wird.

Auch diese beiden Funktionen können OV erfüllen.

Was ein Flip-Flop ist, wissen wir sicher noch vom Abschnitt 4.1. her. Dort haben wir eine Flip-Flop-Schaltung mit Transistoren beschrieben. Wir charakterisierten das Flip-Flop wie folgt:

Das Flip-Flop ist eine bistabile Kippstufe (mit zwei stabilen Zuständen). Durch Eingangssignale kann jeweils der eine oder der andere stabile Zustand eingestellt werden. Das Flip-Flop funktioniert wie ein elektronischer Umschalter.

Diese Charakteristik trifft selbstverständlich auch für ein Flip-Flop zu, das statt mit Transistoren mit einem OV gebaut wird.

Das Flip-Flop in Abb. 5.20 besteht aus den Bauteilen N1, R1, R2 und R3. Die Eingangssignale werden durch die Taster S1 und S2 eingegeben.

Wird Taster S1 gedrückt, dann gelangt Pluspotential an den invertierenden Eingang 2 des N1. Damit wird der Ausgang des OV's N1 negativ. Durch den Spannungsteiler R2 - R3 wird ein Teil dieses negativen Potentials dem nichtinvertierenden Eingang 3 des N1 zugeleitet, wodurch der Zustand des N1 nach Lösen von S1 erhalten bleibt.

Wird Taster S2 gedrückt, dann gelangt Minuspotential an den invertierenden Eingang 2 des N1. Damit wird der Ausgang des N1 positiv. Durch den Spannungsteiler R_2 - R_3 wird ein Teil dieses positiven Potentials dem nichtinvertierenden Eingang 3 des N1 zugeleitet, wodurch auch dieser Zustand des N1 nach Lösen von S2 erhalten bleibt.

Das Signal zum Umschalten von einem stabilen Zustand in den anderen stabilen Zustand wird über die Taster jeweils dem invertierenden Eingang des N1 zugleitet.

Das Signal zum Halten des jeweiligen Zustandes wird vom Ausgang des N1 über den Spannungsteiler R_2 - R_3 dem nichtinvertierenden Eingang des N1 zugeleitet.

Der Blinkgeber in Abb. 5.20 besteht aus den Bauteilen N2, R4, R5, R6 und C. LED VD2 und LED VD3 sie sind die Anzeigeelemente. Über die Diode VD1 werden Signale vom N1 zum N2 übertragen, und zwar ob der Blinkgeber blinken darf oder nicht. Für die Funktion des Blinkgebers ist die Diode nicht erforderlich. Daher soll sie uns jetzt noch nicht interessieren.

Zum besseren Verständnis stellen wir die Baugruppe "Blinkgeber" gesondert in Abb. 5.21 dar. Dem Widerstand R4 haben wir in dieser Abb. eine andere Lage gegeben, ohne die Schaltung zu verändern. Durch die andere Lage ist besser erkennbar, daß R4 und C

- ein R-C-Glied und
- einen Spannungsteiler bilden.

Ebenfalls haben wir zum besseren Verständnis dem Spannungsteiler R5 - R6 eine andere Lage gegeben.

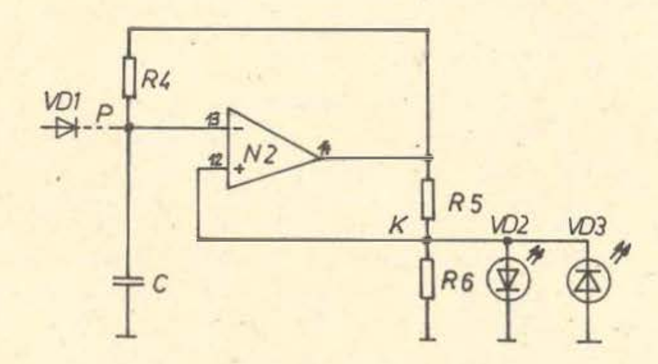


Abb. 5.21
Baugruppe Blinkgeber aus Abb. 5.20

Am besten, wir beginnen mit dem Einfachsten. Das ist die Funktion des Spannungsteilers R5 - R6. Von seinem Knotenpunkt K sind die beiden LED VD2 und VD3 antiparallel nach Masse geschaltet. Damit ist je nach Ausgangspegel des Operationsverstärkers immer eine LED in Flußrichtung geschaltet, d.h. sie leuchtet. Die Spannung am Punkt K kann demnach nie über die Flußspannung einer der beiden LED ansteigen. Gleichzeitig liegt diese Spannung am nichtinvertierenden Eingang des Operationsverstärkers an.

Damit sind die Schaltschwellen festgelegt. Welche Bauelemente sind aber für die Blinkfunktion verantwortlich?

In einfacheren Schaltungen wird ein bestimmter zeitlicher Verlauf meist durch RC-Glieder festgelegt. Die Grundlagen dazu wurden im Kapitel über den Kondensator beschrieben. Dort haben wir bereits gelernt, daß sich ein Kondensator über einen Widerstand langsam auf- oder entladen läßt. Die Geschwindigkeit dieser Umladevorgänge ist abhängig von der Zeitkonstante $\tau = R \cdot C$. In der vorliegenden Schaltung wird das RC-Glied durch den Kondensator C und den Widerstand R4 gebildet.

Befindet sich der Ausgang des Operationsverstärkers in der negativen Sättigung, dann erhält sein nichtinvertierender Eingang die Flußspannung der LED VD3, die ebenfalls negativ gegen Masse ist. Über den Widerstand R4 wird der Kondensator C negativ aufgeladen. Die Spannung am Kondensator wird dem invertierenden Eingang des Operationsverstärkers zugeführt. Sinkt diese unter das Potential des nichtinvertierenden Einganges ab, dann geht der Ausgang des Operationsverstärkers in die positive Sättigung. Als Folge davon leuchtet jetzt die LED VD2 und der nichtinvertierende

Eingang erhält die positive Flußspannung dieser LED. Über R4 wird nun der Kondensator auf positive Spannungswerte gegenüber Masse umgeladen, bis der invertierende Eingang positiver als der nichtinvertierende wird. Zu diesem Zeitpunkt schaltet der Operationsverstärker um und sein Ausgang befindet sich wieder in der negativen Sättigung, die LED VD3 leuchtet, am nichtinvertierenden Eingang liegt die negative Flußspannung der LED VD3 und der Kondensator wird über R4 auf negative Spannungswerte umgeladen ...
Wir erkennen, daß sich nun die Vorgänge laufend wiederholen - die Schaltung schwingt - bis von außen das Stopsignal kommt.
Jetzt kommt die Diode VD1 ins Spiel (Abb. 5.20 -S). Liegt nämlich am Ausgang des N1 Plus, dann wird auch Plus durch die Diode auf den Punkt P gegeben und damit auf den invertierenden Eingang des N2. Der Blinkvorgang kann nicht einsetzen, solange das Pluspotential bestehen bleibt. N2 bleibt in der negativen Sättigung. Als Folge gibt LED VD3 Dauerlicht.
Geht N1 durch Betätigen des Tasters S1 in die negative Sättigung, dann liegt die Diode VD1 wegen der jetzt umgekehrten Polarität in Sperrichtung. Sie kann demzufolge nicht auf den N2 einwirken. N2 kann ungehindert blinken.

Und jetzt sehen wir uns nochmal den ersten Versuch "Warnblinkanlage" an. Wir sind sicher, daß nun auch die Funktionsweise dieser Schaltung verstanden wird.

6. Versuche mit höherem Schwierigkeitsgrad

Die folgenden Versuche stellen höhere Forderungen inbezug auf geistige Leistung und auf selbständiges Erarbeiten zusätzlicher Kenntnisse. Einerseits bauen die Versuche auf bereits erarbeitete Sachkenntnisse auf, andererseits werden neu hinzukommende Sachverhalte nicht mehr so ausführlich wie bisher erklärt. Der Experimentator kann sich anhand der im Literaturverzeichnis aufgeführten einschlägigen Fachliteratur zusätzliche Kenntnisse erarbeiten, die die Versuchsdurchführung und das Verständnis für die Schaltung erleichtern.
Die Versuche des Kapitels 6 erweitern den Umfang des Baukastens und entsprechen den Bedürfnissen des anspruchsvollen Experimentators. Durch die Anwendung des Module A1 ist es möglich, einen beim Nutzer vorhandenen elektroakustischen Wandler (Kopfhörer, Lautsprecher, Kompaktbox) mit einem Nennscheinwiderstand $Z \geq 4\,\Omega$ (Aufschrift beachten!) an die Versuchsschaltungen anzuschließen.
Mit diesen Versuchen wollen wir schon auf die Anforderungen der nächsten Baukästen vorbereiten.

6.1. Ein astabiler Multivibrator gibt Töne von sich

Durch die Umschaltvorgänge in einem astabilen Multivibrator entstehen Rechteckschwingungen (Abb. 6.01). Die Schwingungen kann man über einen Lautsprecher hören, wenn ihre Frequenz im hörbaren Bereich liegt. Unter Frequenz verstehen wir die Anzahl der Schwingungen pro Sekunde. In Abb. 6.01 ist eine vollständige Schwingung besonders hervorgehoben. Erfolgen z.B. in einer Sekunde 300 solcher Schwingungen, dann sagen wir, die Frequenz beträgt 300 Hertz (Hz). Schwingungen im Bereich von 16 Hz bis 20 000 Hz liegen im Hörbereich des menschlichen Ohres und sind als Töne wahrnehmbar. Liefert der astabile Multivibrator Schwingungen in diesem Bereich, dann haben wir einen Tongenerator oder Niederfrequenzgenerator (NF-Generator).

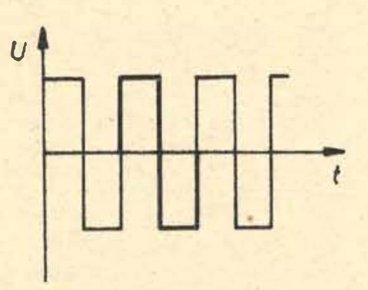
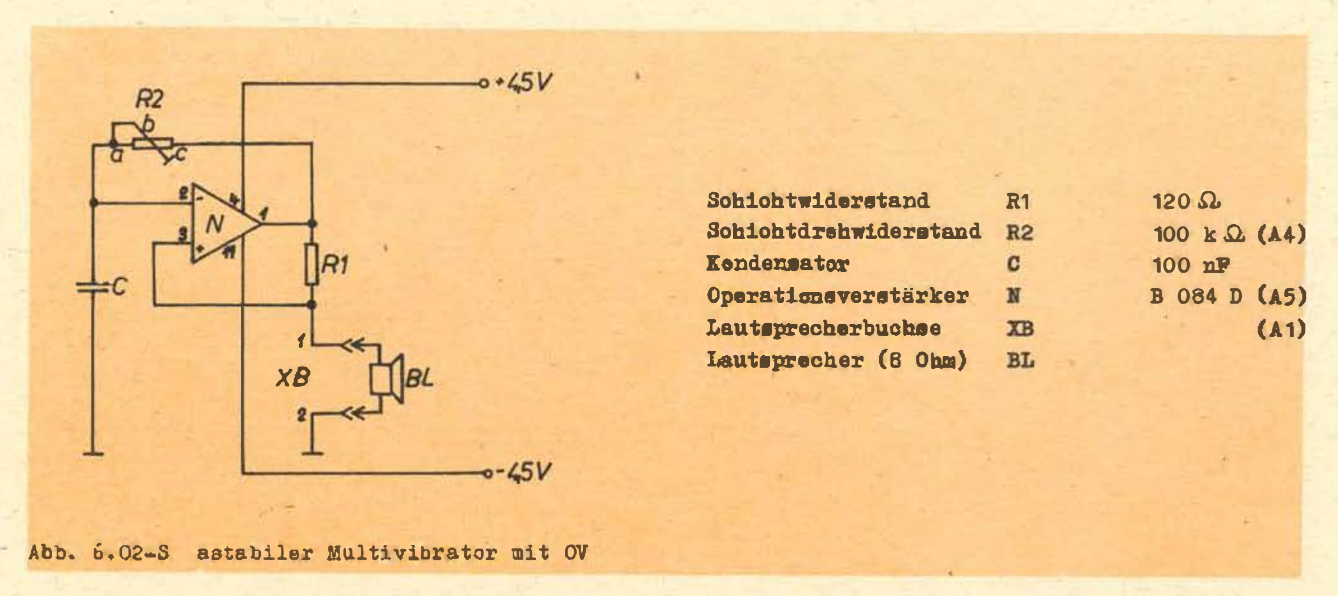


Abb. 6.01
Rechteckschwingung

Abb. 6.02 stellt einen Tongenerator dar, dessen Frequenz mit Hilfe des Schichtdrehwiderstandes variiert werden kann. Baue die Schaltung auf und überprüfe ihre Funktion! Der Schichtdrehwiderstand R2 und der Kondensator C bilden ein R-C-Glied. Die Zeitkonstante des R-C-Gliedes wird durch Verstellen des Schichtdrehwiderstandes variiert. Bei kleinem Widerstand erfolgen die Umschaltvorgänge schnell und bei großem Widerstand langsam. Bei den tiefen Tönen kann man leicht jedes Umschalten des OV's als Knacken hören, während bei höheren Frequenzen ein Knarrgeräusch bis zu definierbaren Tönen wahrgenommen werden kann.
Der Spannungsteiler, der die Haltespannung für den nichtinvertierenden Eingang des OV's zur Verfügung stellt, wird durch den Widerstand R1 und den 8 Ohm-Lautsprecher gebildet. Die Schaltung findet Anwendung als einfacher NF-Signalgeber in der Meß-, Regelungs-, Verstärkertechnik u.a.



Schichtwiderstand	R1	120 Ω
Schichtdrehwiderstand	R2	100 kΩ (A4)
Kondensator	C	100 nF
Operationsverstärker	N	B 084 D (A5)
Lautsprecherbuchse	XB	(A1)
Lautsprecher (8 Ohm)	BL	

Abb. 6.02-S astabiler Multivibrator mit OV

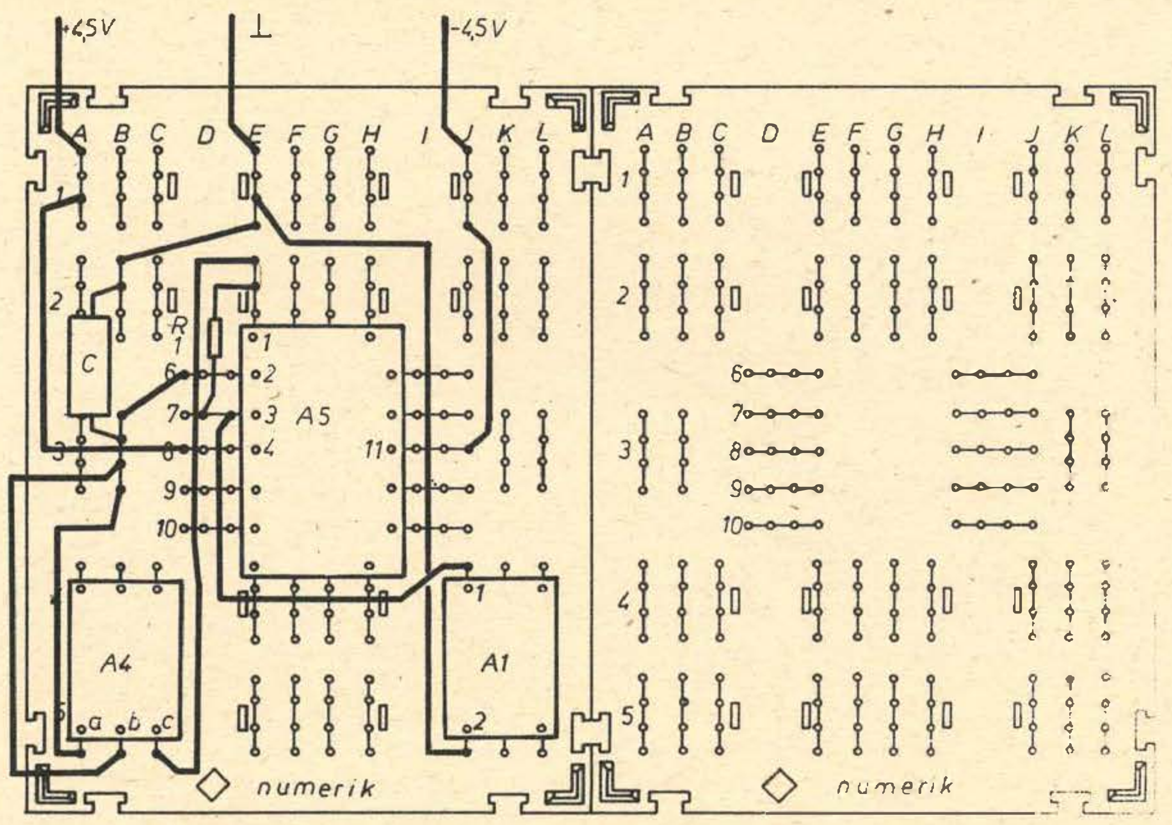
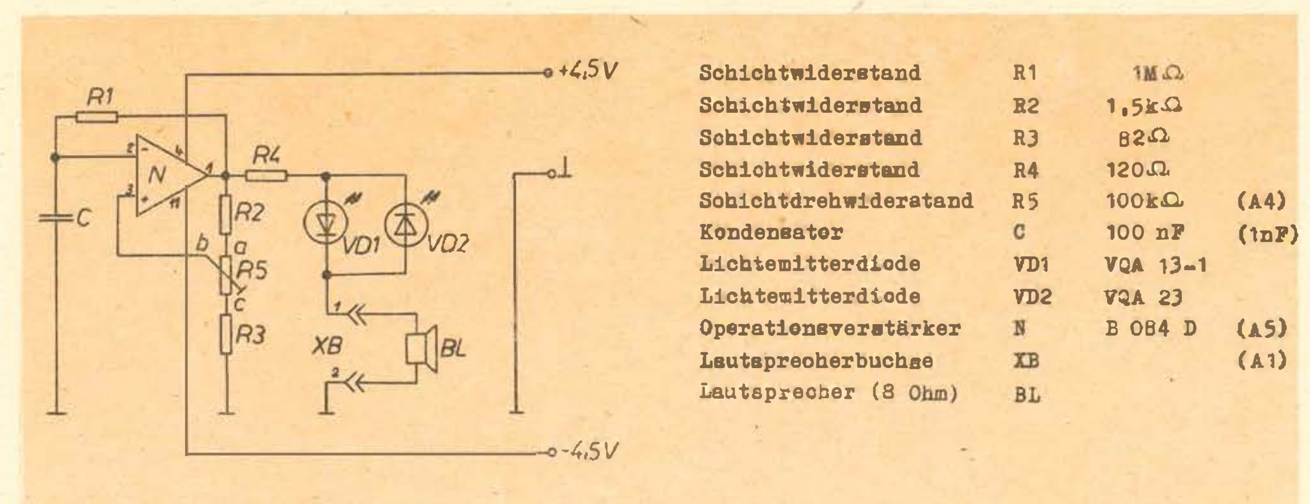


Abb. 6.02-A

6.2. Ein weiterer Generator

Bei diesem Generator sind die Umschaltvorgänge hörbar und die Schaltzustände sichtbar. Der wesentliche Unterschied zum vorangegangenen Versuch besteht in der Art der Frequenzregelung. Während im vorangegangenen Versuch die Zeitkonstante τ des R-C-Gliedes verändert wurde, erfolgt in diesem Fall die Frequenzregelung über die Höhe des Spannungspegels der Haltespannung (in der Fachsprache: Referenzspannung) am nichtinvertierenden Eingang des OV's. Wird nämlich der Spannungspegel mit Hilfe des Schichtdrehwiderstandes R5 (Abb. 6.03-S) nach Masse hin verschoben, dann erfolgt der Umschaltvorgang des OV's bereits bei einer geringen Kondensatorspannung. Im anderen Fall muß eine größere Kondensatorspannung erreicht werden, bevor der Umschaltvorgang erfolgen kann. Da die Zeitkonstante τ des R-C-Gliedes nicht verändert wird, dauert das natürlich länger.



Schichtwiderstand	R1	1MΩ	
Schichtwiderstand	R2	1,5kΩ	
Schichtwiderstand	R3	82Ω	
Schichtwiderstand	R4	120Ω	
Schichtdrehwiderstand	R5	100kΩ	(A4)
Kondensator	C	100 nF	(1nF)
Lichtemitterdiode	VD1	VQA 13-1	
Lichtemitterdiode	VD2	VQA 23	
Operationsverstärker	N	B 084 D	(A5)
Lautsprecherbuchse	XB		(A1)
Lautsprecher (8 Ohm)	BL		

Abb. 6.03-S astabiler Multivibrator mit OV und optischer Anzeige

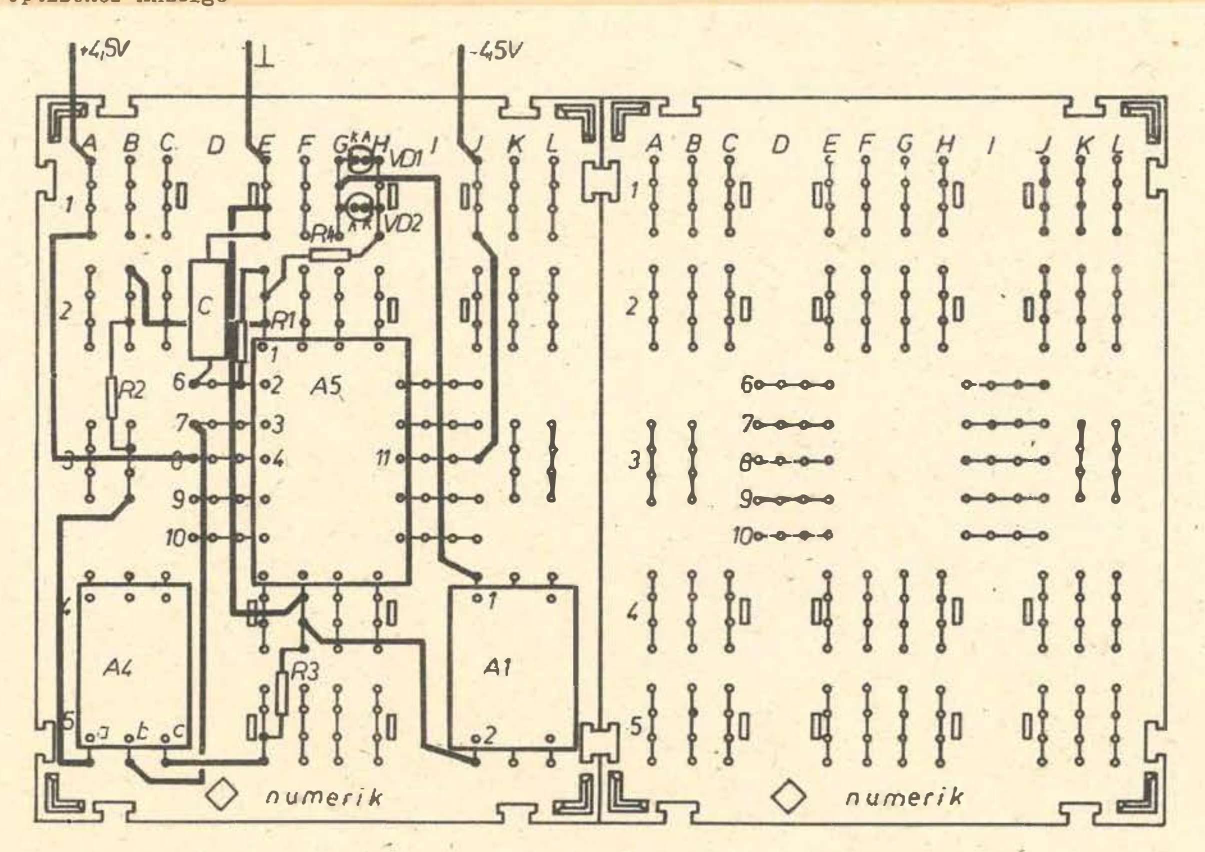


Abb. 6.03-A

Baue die Schaltung nach Abb. 6.03 auf und überprüfe ihre Funktion. Liegt der Schleifer des Schichtdrehwiderstandes am Anschluß des Widerstandes R3, also nach Masse hin, dann braucht der Kondensator nur auf eine geringe Spannung aufgeladen zu werden, um den OV umzuschalten. Es ist nur eine geringe Ladezeit des Kondensators notwendig. Liegt der Schleifer des Potentiometers am Anschluß des Widerstandes R2, dann benötigt der Kondensator wegen der erforderlichen größeren Referenzspannung eine große Ladezeit.
Im ersten Fall ist im Lautsprecher ein Ton hörbar. Im zweiten Fall kann man das wechselseitige Aufleuchten der beiden LED gut verfolgen und damit die Schaltzustände des Operationsverstärkers. Der Lautsprecher liefert nur noch ein Knarrgeräusch.
Diese Schaltung findet als Rechteckfunktionsgenerator in der Digitaltechnik oder als einfacher Signalgeber in der NF-Verstärkertechnik sowie Meß- und Regelungstechnik Anwendung.

6.3. Ein elektronischer Impulszähler

Dieser elektronische Impulszähler zählt Impulse, die ein Generator erzeugt. Die Generatorfrequenz kann herunter- oder hochgeregelt werden, so daß der Zählvorgang langsam oder schnell abläuft. Gezählt werden vier Zählzustände rückwärts von 3 bis 0, wobei die Anzeige durch die beiden LED binär erfolgt.

Zählzustände	binäre Pegel	dekodierter Wert
1. beide LED hell	H H	3
2. LED 1 dunkel, LED 2 hell	L H	2
3. LED 1 hell, LED 2 dunkel	H L	1
4. beide LED dunkel	L L	0

Danach beginnt das Zählen wieder von vorn. Solche Schaltungen finden in der digitalen Schaltungstechnik zur Impulszählung und zur Teilung von Frequenzen Anwendung.

Baue die Schaltung nach Abb. 6.04 auf und überprüfe ihre Funktion! Die Generatorfrequenz kann mit dem Schichtdrehwiderstand R11 auf extrem geringe Werte eingestellt werden.
Der OV N1 arbeitet als Rechteckgenerator. Die Frequenzregelung erfolgt wie beim Versuch 6.2. über die Höhe der Referenzspannung am nichtinvertierenden Eingang des OV's.
Der OV N2 ist mit Gegenkopplungsnetzwerk R2-R3 als invertierender Verstärker geschaltet. Der Verstärker dient nur zur Bereitstellung des erforderlichen Spannungspegels der vom N1 gelieferten Rechteckspannung. Allerdings kehrt er die Polarität der Spannungspegel um, denn es handelt sich ja um einen invertierenden Verstärker.
Der Schaltungsteil mit den Transistoren VT1 und VT 2 bildet einen bistabilen Multivibrator (Flip-Flop). Im Abschnitt 4.1. haben wir ein Flip-Flop mit Transistoren erklärt. Im Unterschied zu diesem steuern wir diesmal das Flip-Flop nicht über Taster, sondern mit Hilfe der vom OV 1 erzeugten und vom OV 2 verstärkten Rechteckspannung.
Um mit einem Flip-Flop eine Zählfunktion zu realisieren ist es notwendig, daß nur eine Schaltflanke des Eingangssignals ein Umschalten auslöst. Ebenso müssen die beiden Eingänge (im Abschnitt 4.1. waren es zwei Tasten) zusammengefaßt werden. Man spricht dann von einem sogenannten flankengetriggerten Flip-Flop.
In unserer Schaltung wird das Umschalten durch ein Wechseln des Ausgangspegels des OV's von H nach L ausgelöst. Verantwortlich sind dafür die Bauelemente VD1, VD2, R5, R6, C2 und C3. Die Kondensatoren C2 und C3 bewirken, daß nur die Flanken der Eingangsspannung an die Basisanschlüsse der Transistoren gelangen, denn sie sind nur für Spannungsänderungen durchlässig. Ist VT 1 gesperrt, dann ist VT 2 durchgesteuert und die LED VD4 leuchtet. Über R6 gelangt demzufolge Massepotential an die Anode von VD1 und über R5 Pluspotential an die Anode von VD2. Schaltet jetzt der Ausgang des OV's N2 von H nach L um, dann wird die Diode VD2 eingeschaltet, da sie in Flußrichtung Spannung erhält. Durch die Diode VD1 kann kein Strom fließen, da über ihr keine Spannung anliegt. Der Spannungssprung an der Anode von VD2 nach L wird von C3 übernommen und sperrt den Transistor VT2. Die LED VD 4 verlischt und VT1 wird eingeschaltet. Da das Flip-Flop umgeschaltet hat, wird jetzt die Diode VD1 zur Übernahme der nächsten Schaltflanke vorbereitet. Abb. 6.05 a) zeigt das Ausgangssignal des Operationsverstärkers N2 und Abb. 6.05 b), an welcher Basis die Schaltflanken wirksam werden.

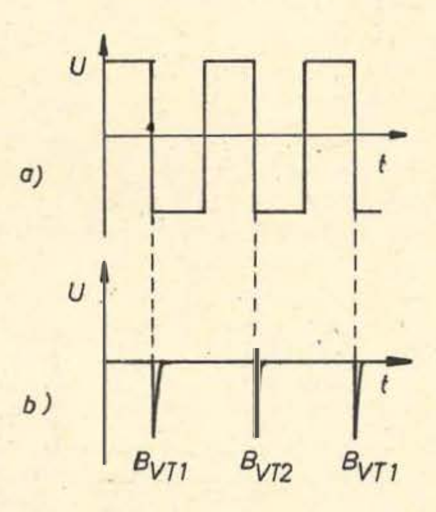


Abb. 6.05
Zeitdiagramm zur Schaltung in Abb. 6.04

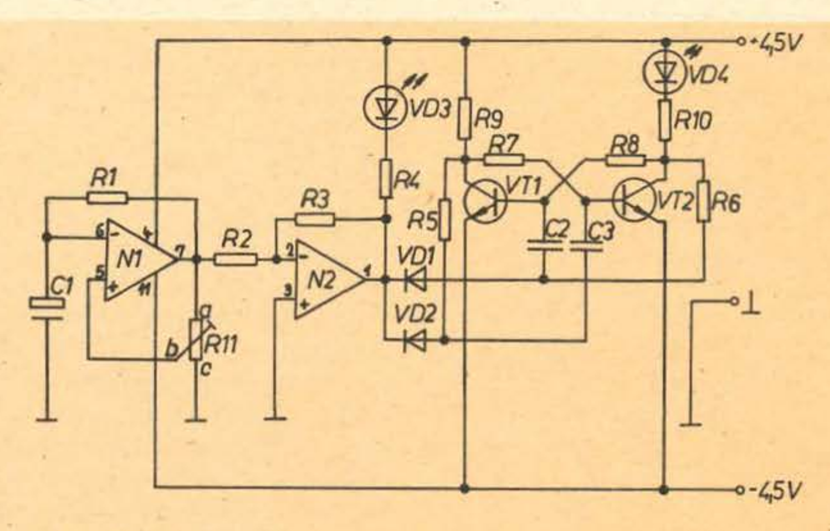


Abb. 6.04-S elektronischer Impulszähler

Schichtwiderstand	R1	680 kΩ	Elektrolytkondensator	C1	10 µF
Schichtwiderstand	R2	1,5 kΩ	Kondensator	C2	100 nF
Schichtwiderstand	R3	100 kΩ	Kondensator	C3	100 nF
Schichtwiderstand	R4	120 Ω	Diode	VD1	SAY 20
Schichtwiderstand	R5	22 kΩ	Diode	VD2	SAY 20
Schichtwiderstand	R6	22 kΩ	Lichtemitterdiode	VD3	VQA 13-1
Schichtwiderstand	R7	3,3 kΩ	Lichtemitterdiode	VD4	VQA 23
Schichtwiderstand	R8	82 kΩ	Transistor	VT1	SC 236 E (A2)
Schichtwiderstand	R9	680 Ω	Transistor	VT2	SC 236 E (A2)
Schichtwiderstand	R10	510 Ω	Operationsverstärker	N1, N2	B 084 D (A5)
Schichtdrehwiderstand	R11	100 kΩ (A4)			

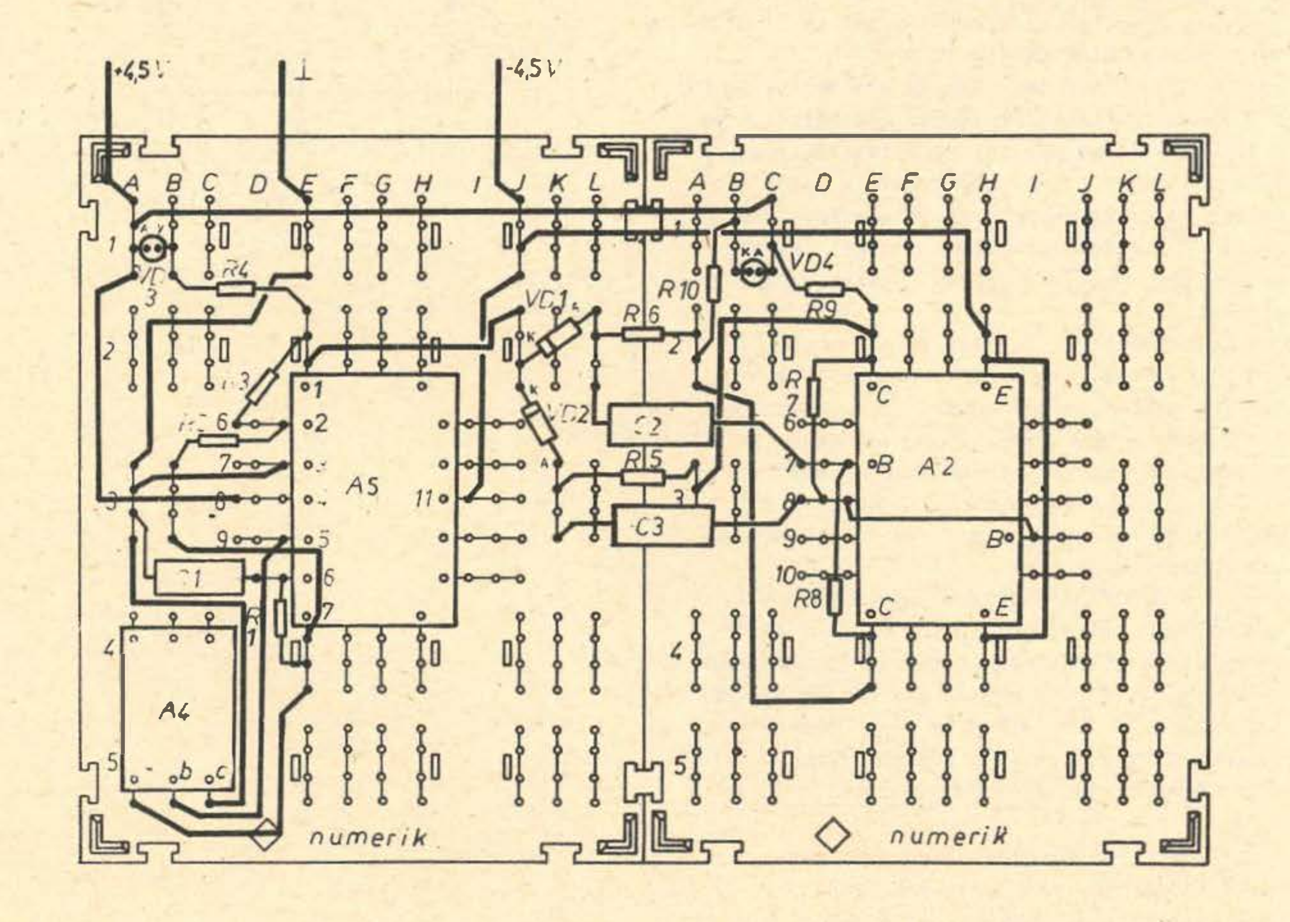


Abb. 6.04-A

6.4. Ein Wechselspannungsverstärker

Verstärkt wird eine Wechselspannung, die in der Schaltung erzeugt wird.
Wir unterscheiden die Baugruppe mit dem OV und die mit dem Transistor.
Die Baugruppe mit dem OV stellt einen astabilen Multivibrator dar, wie wir ihn bereits kennengelernt haben. Er erzeugt eine Wechselspannung. Die Frequenz der Wechselspannung (Tonhöhe) kann mit dem Schichtdrehwiderstand R3 in bereits beschriebener Weise geregelt werden (vgl. Abschnitte 6.2. und 6.3.).
Die Baugruppe mit dem Transistor ist ein Verstärker. Daß es ein Wechselspannungsverstärker ist, erkennt man an den beiden Kondensatoren C2 und C3. Sie sperren die Gleichspannung im Signalweg und koppeln die Wechselspannung aus. Von dieser Arbeitsweise ist auch die Bezeichnung Koppelkondensator abgeleitet.
Ein solcher Wechselspannungsverstärker in Emitterschaltung hat eine hohe Spannungs- und Leistungsverstärkung, aber einen niederohmigen Eingangswiderstand von einigen hundert Ohm bis zu einigen Kiloohm.

Baue die Schaltung nach Abb. 6.06 auf und überprüfe die Verstärkerwirkung! Schließt man den Lautsprecher zwischen den Punkten C und D an, also vor dem Verstärker, dann ist nur ein leiser Ton zu hören. Setzt man den Lautsprecher zwischen A und B, dann ist ein lauter Ton zu hören. Die Lautstärke kann mit dem Schichtdrehwiderstand R6 eingestellt werden.

6.5. Ein Morsegerät

Im Jahre 1837 erfand Morse den elektromagnetischen Schreibtelegrafen. Mit seiner Hilfe können Nachrichten von einem Ort zum anderen übermittelt werden. Trotz moderner Übertragungstechnik kann man das Morsen auch heute noch antreffen. Morse lieferte auch gleich das Alphabet, in welchem Buchstaben, Ziffern und Zeichen durch Punkte und Striche ausgedrückt werden. Die Übertragung kann auch drahtlos erfolgen, (z. B. im Schiffs- und Amateurfunk).
Als Empfangsgerät kann anstelle eines Schreibers ein Kopfhörer oder ein Lautsprecher verwendet werden, wobei ein Punkt durch einen kurzzeitigen Ton und ein Strich durch einen etwas länger dauernden Ton dargestellt wird. Allerdings erfordert das Abhören von Nachrichten nach dem Morsealphabet einige Übung. Mit unserem Morsegerät können künftige Funker ihr Handwerk erlernen und sich in der Kunst des Telegrafierens üben.
Unser Gerät (Abb. 6.07) besteht aus einem astabilen Multivibrator mit Signaleingabeteil und aus einer Verstärkerstufe mit Lautsprecher. Die Schaltung sieht der nach Abb. 6.06 ähnlich, wir haben sie einfach für unsere Zwecke umgebaut.
Die Baugruppe mit dem OV hat auch hier wieder die Funktion des astabilen Multivibrators mit der Aufgabe, die Tonfrequenz zu erzeugen. Solange der Taster S aber geöffnet ist, kann der astabile Multivibrator nicht schwingen und keine Tonfrequenz erzeugen, weil über den Widerstand R1 und die Diode VD am Punkt A konstantes Pluspotential anliegt. Wird der Taster betätigt, dann sperrt die Diode wegen des jetzt an der Anode liegenden Minuspotentials und der astabile Multivibrator kann schwingen.
Die Baugruppe mit dem Transistor hat die Funktion des Wechselspannungsverstärkers. Die Kondensatoren sperren die Gleichspannung und lassen nur die tonfrequente Wechselspannung wirksam werden.
Mit R4 kann die Tonhöhe und mit R7 die Lautstärke eingestellt werden.

Morsealphabet

a	.-	o	---	ä	.-.-
b	-...	p	.--.	ö	---.
c	-.-.	q	--.-	ü	..--
d	-..	r	.-.	ch	----
e	.	s	...		
f	..-.	t	-	0	-----
g	--.	u	..-	1	.----
h	....	v	...-	2	..---
i	..	w	.--	3	...--
j	.---	x	-..-	4	....-
k	-.-	y	-.--	5	.....
l	.-..	z	--..	6	-....
m	--			7	--...
n	-.			8	---..
				9	----.

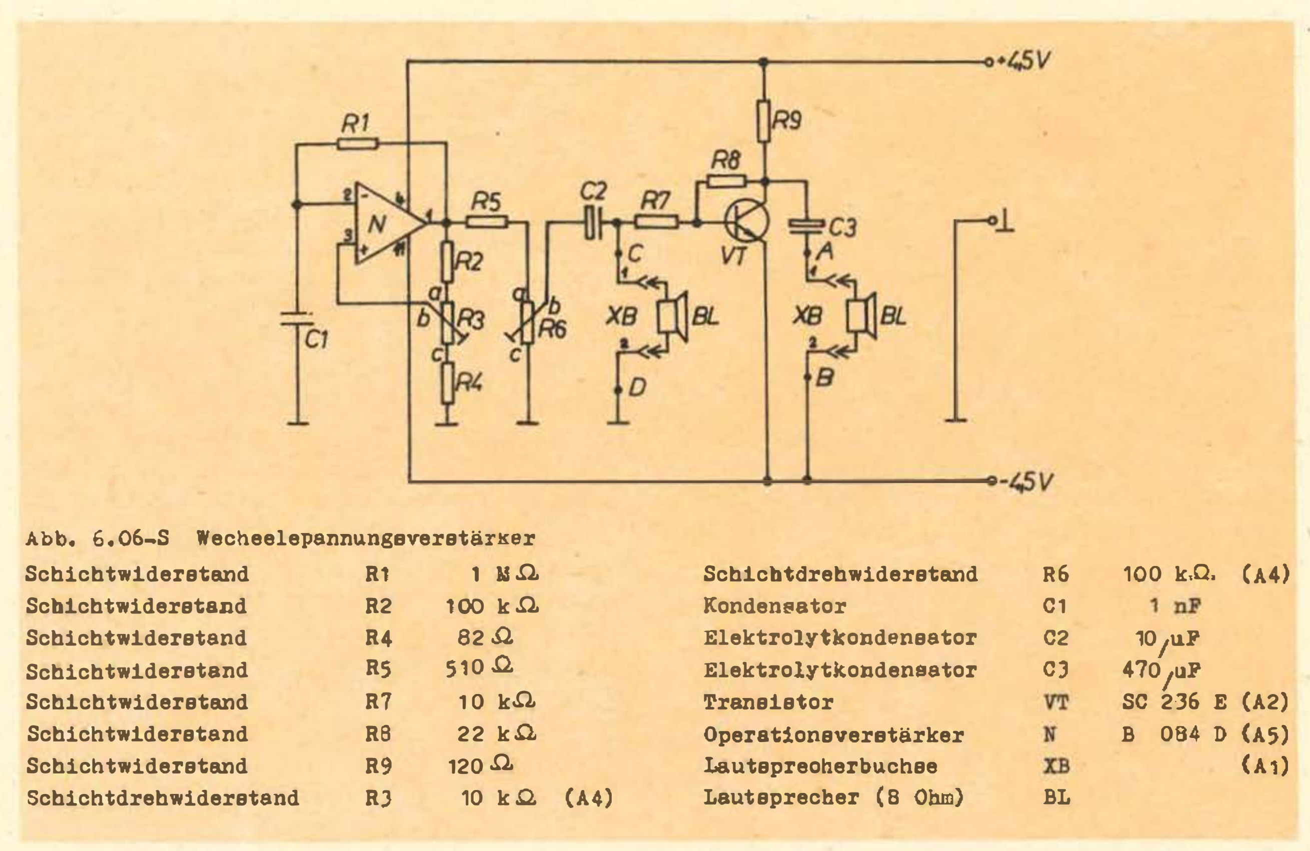


Abb. 6.06-S Wechselspannungsverstärker

Schichtwiderstand	R1	1 MΩ	Schichtdrehwiderstand	R6	100 kΩ (A4)
Schichtwiderstand	R2	100 kΩ	Kondensator	C1	1 nF
Schichtwiderstand	R4	82 Ω	Elektrolytkondensator	C2	10 µF
Schichtwiderstand	R5	510 Ω	Elektrolytkondensator	C3	470 µF
Schichtwiderstand	R7	10 kΩ	Transistor	VT	SC 236 E (A2)
Schichtwiderstand	R8	22 kΩ	Operationsverstärker	N	B 084 D (A5)
Schichtwiderstand	R9	120 Ω	Lautsprecherbuchse	XB	(A1)
Schichtdrehwiderstand	R3	10 kΩ (A4)	Lautsprecher (8 Ohm)	BL	

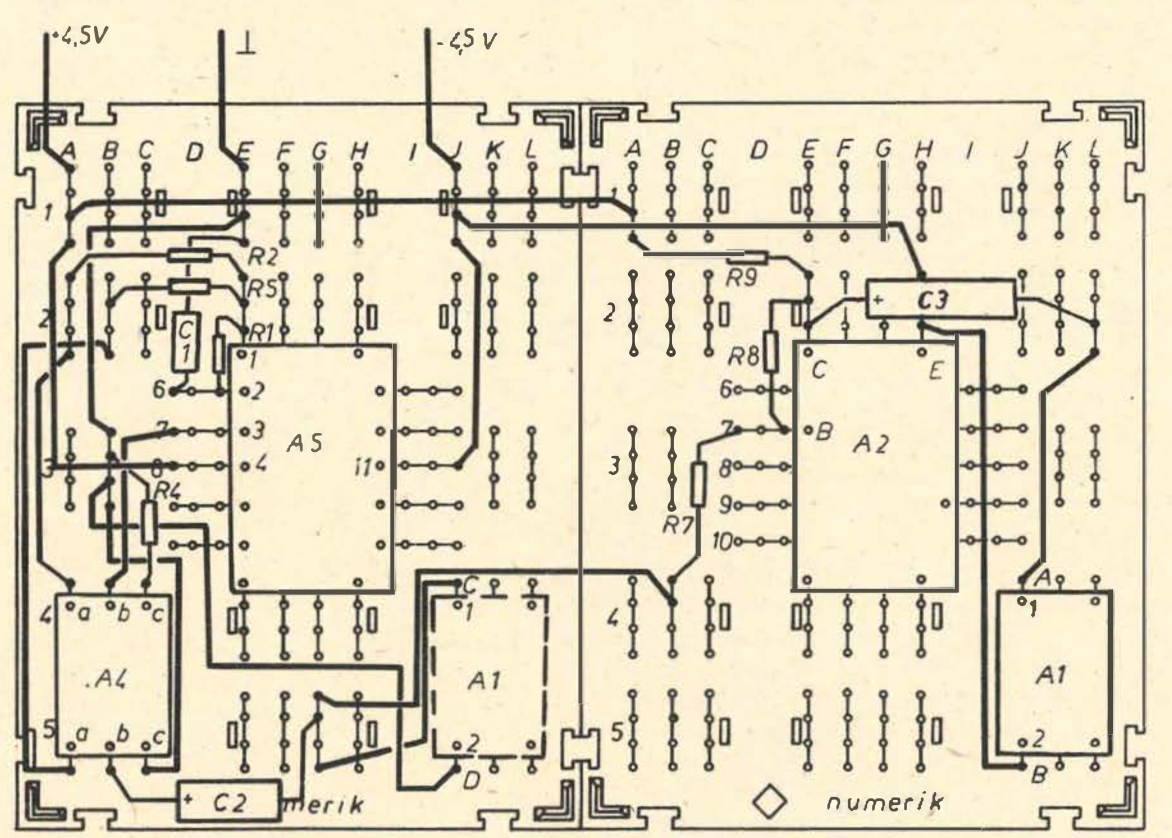


Abb. 6.06-A

Abb. 6.07-S Morsegerät

Bauelement		Wert	
Taster	S		
Schichtwiderstand	R1	22 kΩ	
Schichtwiderstand	R2	1 MΩ	
Schichtwiderstand	R3	100 kΩ	
Schichtwiderstand	R5	82 Ω	
Schichtwiderstand	R6	510 Ω	
Schichtwiderstand	R8	10 kΩ	
Schichtwiderstand	R9	22 kΩ	
Schichtwiderstand	R10	120 Ω	
Schichtdrehwiderstand	R4	10 kΩ	(A4)
Schichtdrehwiderstand	R7	100 kΩ	(A4)
Kondensator	C1	100 nF	
Elektrolytkondensator	C2	10 µF	
Elektrolytkondensator	C3	470 µF	
Diode	VD	SAY 20	
Transistor	VT	SC 236 E	(A2)
Operationsverstärker	N	B 084 D	(A5)
Lautsprecherbuchse	XB		(A1)
Lautsprecher (8 Ohm)	BL		

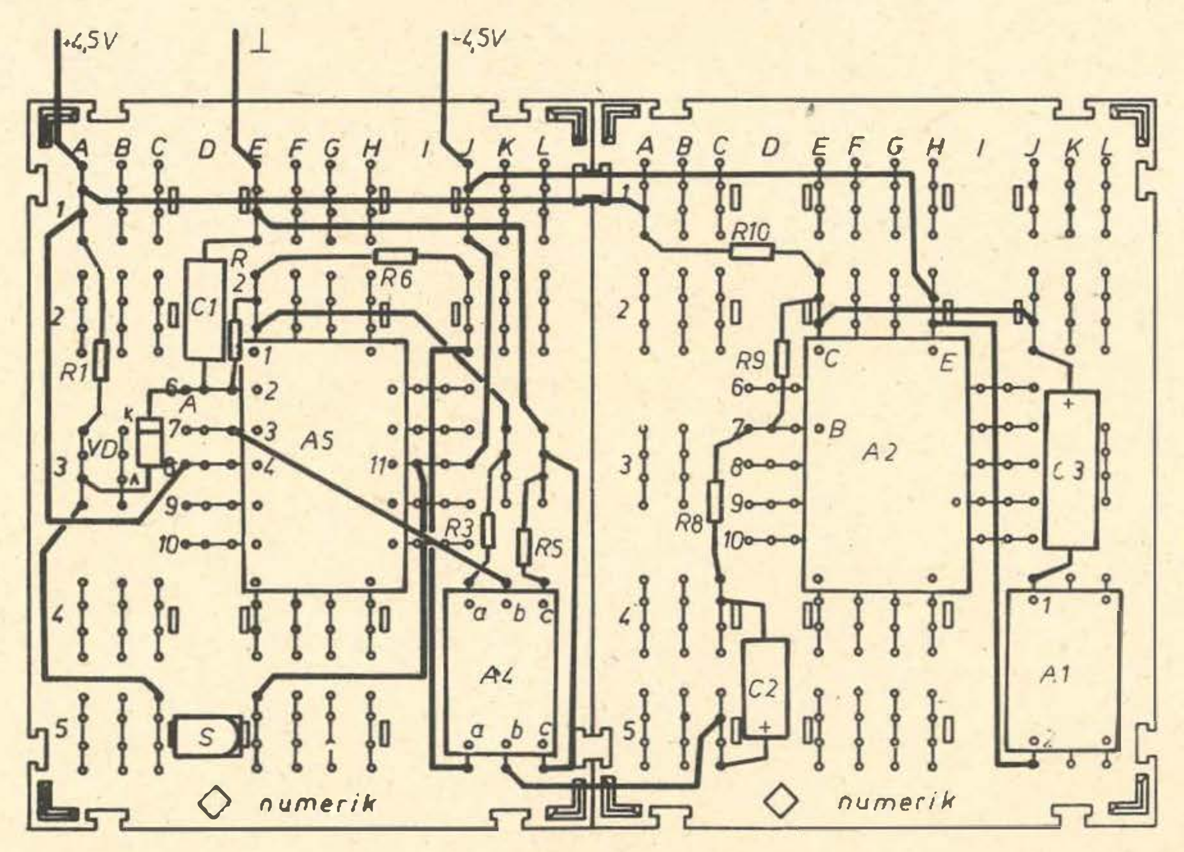


Abb. 6.07-A

6.6. Ein Diodenprüfgerät

Der Ausfall einer Diode kann sich wie folgt äußern, entweder liegt eine Unterbrechung vor oder ein Kurzschluß. Beide Fehlerarten können mit diesem Diodenprüfgerät ermittelt werden. Die Fehler werden akustisch gemeldet. Bei Unterbrechung ist ein tiefer Ton, bei Kurzschluß ein hoher Ton zu hören.
Baue die Schaltung nach Abb. 6.08 auf und überprüfe die Funktion einer LED, Brücke 1 muß, Brücke 2 darf nicht vorhanden sein, die LED muß leuchten. Mit dem Schichtdrehwiderstand R13 wird die Schaltung so eingeregelt, daß kein Ton zu hören ist. Die beiden möglichen Fehler können mittels der Brücken simuliert werden:

- Einsetzen von Brücke 2 simuliert Kurzschluß
- Herausnahme von Brücke 1 simuliert Unterbrechung der Diode.

Die beiden OV N1 und N4 arbeiten als Komparator. Sie überwachen die Funktion der LED, indem sie die Spannungen an ihren Eingängen vergleichen. Die beiden OV N2 und N3 arbeiten als astabile Multivibratoren. Sie erzeugen die Töne, wenn sie durch die Komparatoren dazu aufgefordert werden.
Der Transistor arbeitet als Wechselspannungsverstärker, wie wir ihn im vorangegangenen Versuch kennengelernt haben.
Solange die LED funktioniert (mit Brücke 1, ohne Brücke 2), liegt am nichtinvertierenden Eingang des N1 ein höheres positives Potential als am invertierenden, so daß der Ausgang des N1 auch positives Potential führt. Die Diode VD1 ist somit leitend und der Tongenerator mit N2 kann nicht schwingen. Der Tongenerator mit N3 kann ebenfalls nicht schwingen, da am Ausgang von N4 negatives Potential anliegt und die Diode VD2 somit auch leitet.

1. Fehler: Unterbrechung

Die Brücke 1 wird entfernt. Die LED erlischt. Die invertierenden Eingänge der Komparatoren erhalten über R_3 negatives Potential. Der Ausgang des N4 wird positiv, die Diode VD2 sperrt und der Tongenerator mit N3 schwingt. Die Schwingungen werden von der Transistorstufe mit VT verstärkt und über den Lautsprecher als tiefer Dauerton hörbar. Am Ausgang des N1 hat sich nichts geändert, denn der N1 benötigt zum Umschalten am invertierenden Eingang ein höheres positives Potential in Bezug auf den nichtinvertierenden Eingang.

2. Fehler: Kurzschluß

Die Brücken 1 und 2 werden gesteckt. Die LED erlischt. Jetzt liegt am invertierenden Eingang des N1 ein höheres positives Potential als am nichtinvertierenden Eingang. Der Ausgang des N1 wird folglich negativ. Da jetzt die Diode VD1 sperrt, kann der Tongenerator mit N2 schwingen. Die über den Transistor verstärkten Schwingungen sind über den Lautsprecher als hoher Dauerton hörbar. Der Ausgang des N1 bleibt negativ, wodurch der Tongenerator mit N4 nicht schwingen kann.
Mit dieser Schaltung können nicht nur LED auf Funktionstüchtigkeit geprüft werden, sondern auch Silizium- oder Germaniumdioden sowie die Emitter - Basis - bzw. Basis - Kollektor - Dioden von Transistoren. Auf die richtige Polung muß geachtet werden. Außerdem muß mit dem Regler R13 bei eingesetzter Brücke 1 und ohne Brücke 2 der Punkt gesucht werden, bei welchem im Lautsprecher kein Ton zu hören ist.

Schichtwiderstand	R1	120 Ω	
Schichtwiderstand	R2	680 Ω	
Schichtwiderstand	R3	510 Ω	
Schichtwiderstand	R4	330 kΩ	
Schichtwiderstand	R5	100 kΩ	
Schichtwiderstand	R6	8,2 kΩ	
Schichtwiderstand	R7	82 kΩ	
Schichtwiderstand	R8	3,3 kΩ	
Schichtwiderstand	R9	1,5 kΩ	
Schichtwiderstand	R10	2,7 kΩ	
Schichtwiderstand	R11	22 kΩ	
Schichtwiderstand	R12	160 Ω	
Schichtdrehwiderstand	R13	10 kΩ	(A4)
Kondensator	C1	1 nF	
Kondensator	C2	6,8 nF	
Kondensator	C3	100 nF	
Kondensator	C4	100 nF	
Elektrolytkondensator	C5	100 µF	
Diode	VD1	SAY 20	
Diode	VD2	SAY 20	
Lichtemitterdiode	VD3	VQA 23	
Transistor	VT	SC 236 E	(A2)
Operationsverstärker	N1, N2, N3, N4	B 084 D	(A5)
Lautsprecherbuchse	XB		(A1)
Lautsprecher (8 Ohm)	BL		

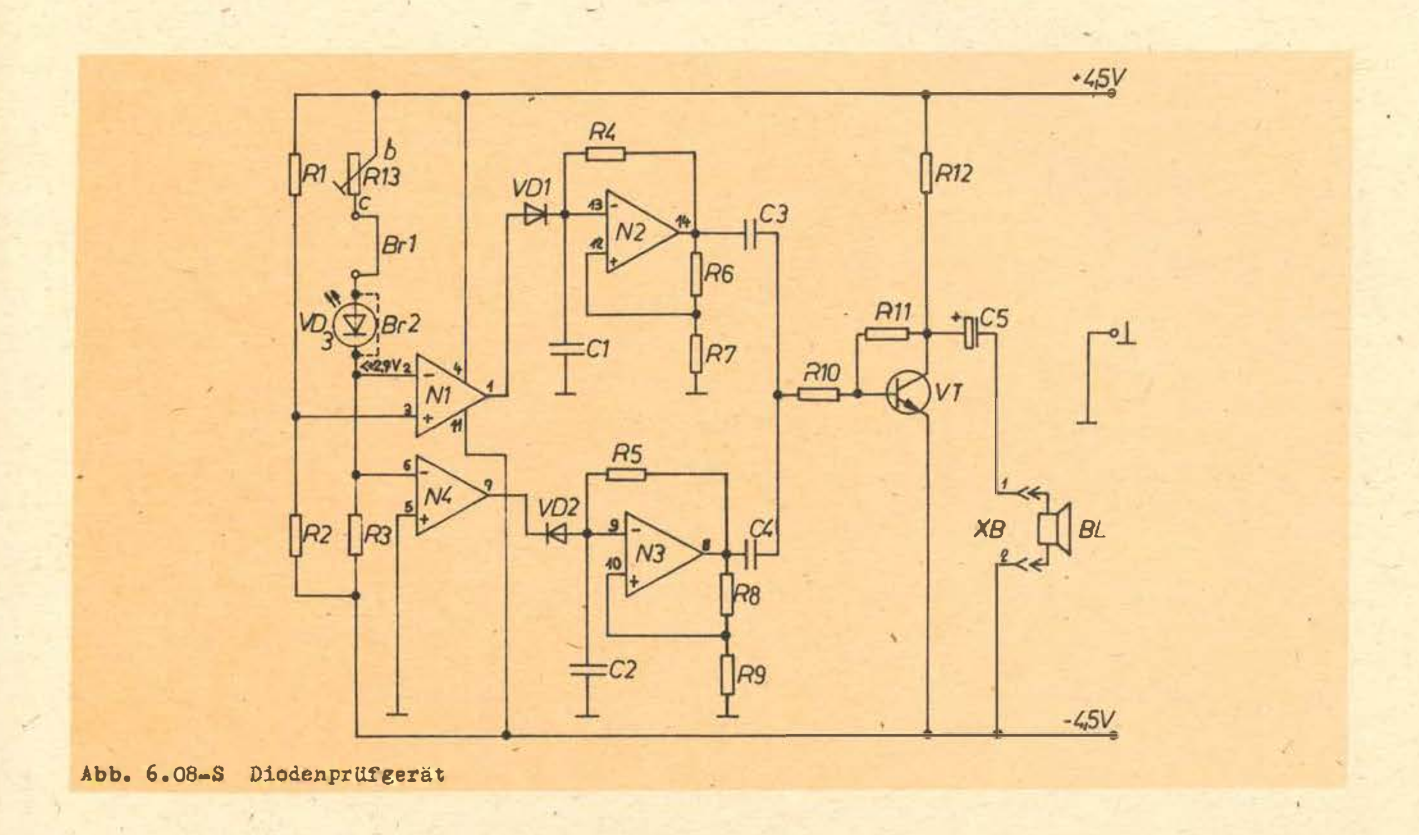


Abb. 6.08-S Diodenprüfgerät

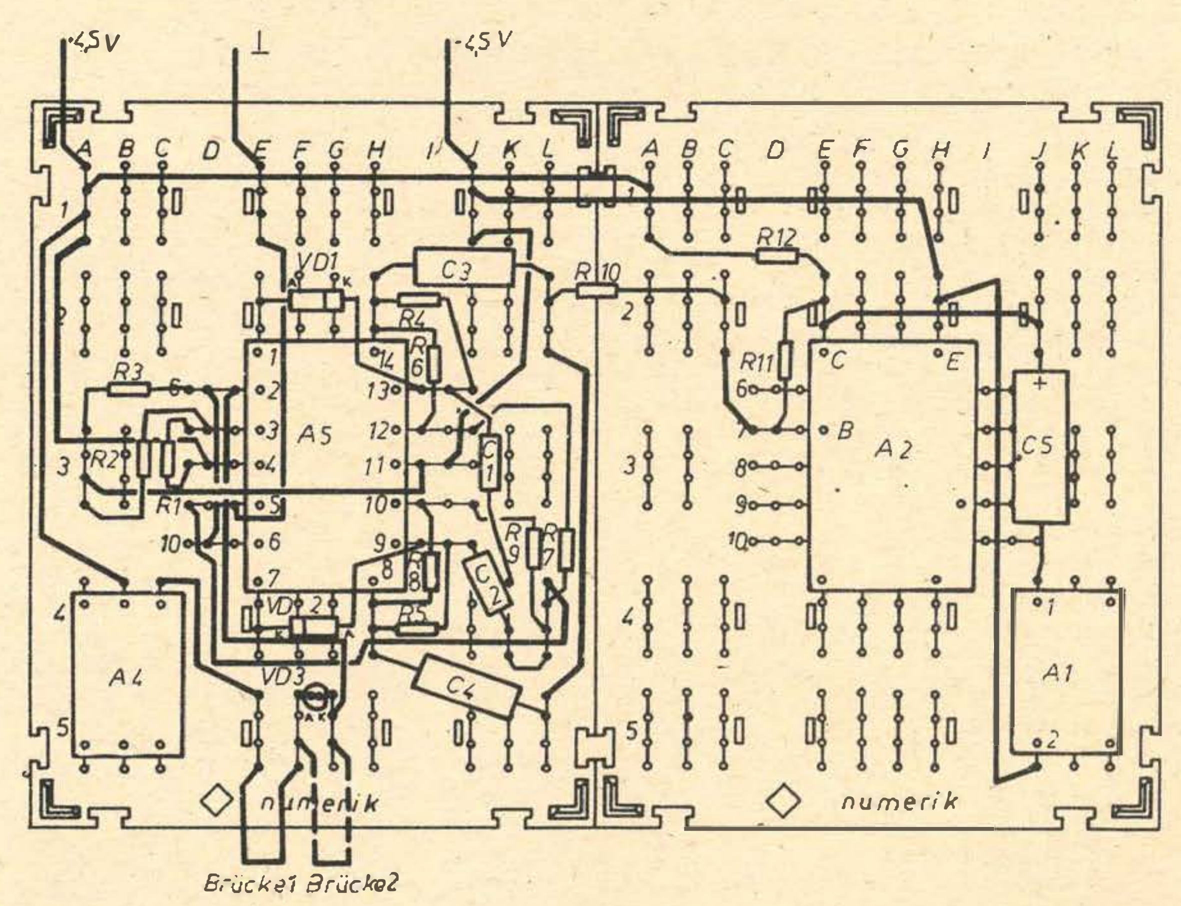


Abb. 6.08-A

7. Sachwörterverzeichnis

8. Literaturverzeichnis

Autorenkollektiv: Wissensspeicher, Grundlagen der Elektronik, BMSR-Technik, Datenverarbeitung, 4. stark bearbeitete Auflage, VEB Verlag Technik, Berlin 1980

Brauer, H. und C. Lehmann: Elektrotechnik Elektronik, Tabellen und Rechenbeispiele für den Praktiker, VEB Verlag Technik, Berlin 1983

Finke, K.-M. : Bauteile der Unterhaltungselektronik, VEB Verlag Technik, Berlin 1980

Hiller, H.: Operationsverstärker - Schaltungen und Anwendungen, VEB Verlag Technik, Berlin 1982

Leonhardt, E.: Grundlagen der Digitaltechnik. Eine systematische Einführung, 3. bearbeitete Auflage, VEB Verlag Technik, Berlin 1982

Lunze, K.: Einführung in die Elektrotechnik, 8. Auflage, VEB Verlag Technik, Berlin 1981

Möschwitzer, A. und K.-H. Rumpf: Einführung in die Elektronik, 3. stark bearbeitete Auflage, VEB Verlag Technik, Berlin 1982

Rumpf, K.-H. und M. Pulvers: Transistor-Elektronik, Anwendungen von Halbleiterbauelementen und integrierten Schaltungen. 9. bearbeitete Auflage. VEB Verlag Technik, Berlin 1984.

Seifert, M.: Analoge Schaltungen und Schaltkreise. 2. bearbeitete Auflage. VEB Verlag Technik, Berlin 1982.

Seifert, M.: Digitale Schaltungen und Schaltkreise. VEB Verlag Technik, Berlin 1982.

Rumpf, K.-H.: Bauelemente der Elektronik. 10. bearbeitete Auflage VEB Verlag Technik, Berlin 1980

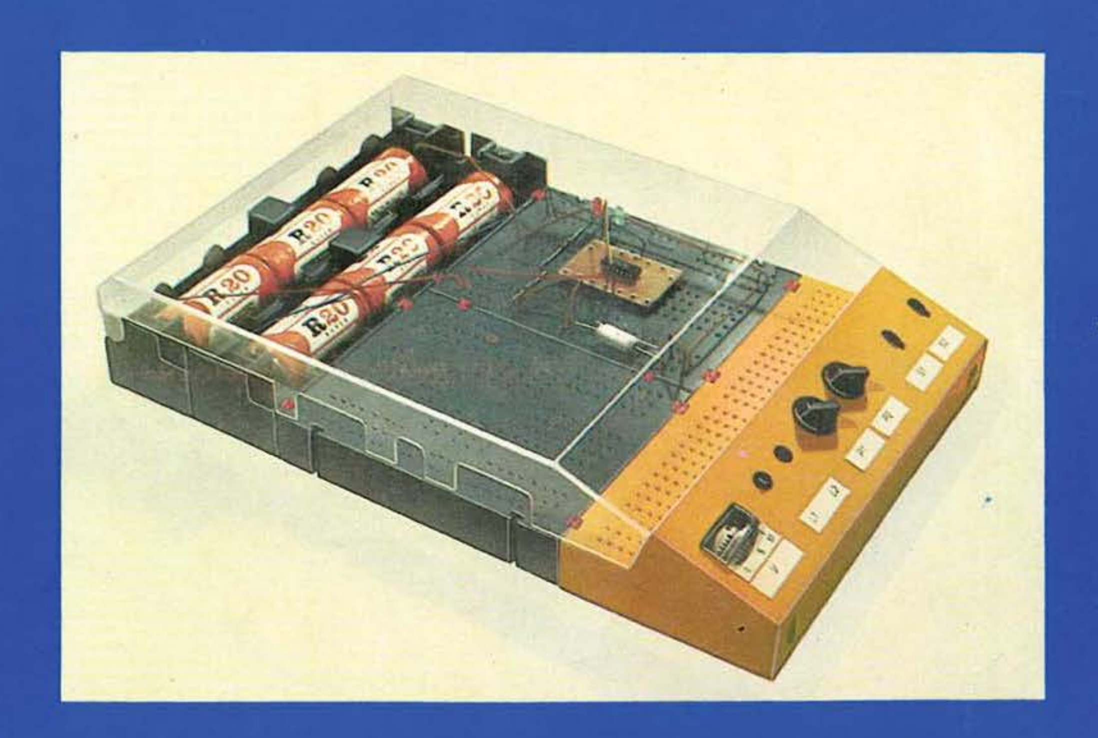
Nr.Kv246/88 III/27/28 188 12 000 210

Benennung des Bauelementes	Abbildung	Schaltzeichen	Kurzbezeichnung	Darstellung im Aufbauplan
Modul A2 bestückt mit zwei Siliziumtransistoren SC 236 E TGL 27147 (NF-Transistoren im Miniplastgehäuse)	C SC 236 E B A2 B SC 236 C E	npn Transistor SC236 C B E B-Basis E-Emitter C-Kollektor	VT	OC EO OB A2 BO OC EO
Modul A3 bestückt mit je einem Siliziumtransistor SC 236 E TGL 27147 SC 307 E TGL 37871 (NF-Transistoren im Miniplastgehäuse)	C SC 236 E B A3 B SC 307 C E	pnp Transistor SC 307 C B E B-Basis E-Emitter C-Kollektor	VT	OC EO OB A3 BO OC EO
Modul A4 bestückt mit zwei Schichtdrehwiderständen 10 kOhm 100 kOhm Bauform: 595.1210,2 TGL 11886	a b c 10K A4 100K a b c	a b c	R	O O O a b c A4 a b c O O O
Modul A5 bestückt mit dem Schaltkreis B 084 D TGL 39490 (integrierte Schaltung mit vier Operationsverstärkern)	1 14 2 A5 13 3 12 + – 5 10 6 9 BO84 7 8	– + Innenschaltung B084 1 2 3 4 5 6 7 14 13 12 11 10 9 8 + N1 N2 N4 N3 –	N	O1 14O O2 A5 13O O3 12O O4 11O O5 10O O6 9O O7 8O

elektronik system

Der NKM Baukasten 100 ist der erste Baukasten eines modernen Elektronikbaukastensystems, das im VEB „NUMERIK Karl Marx" entwickelt wurde.
Er ist erweiterbar durch den Ergänzungssatz 150 und wird so zu einem komfortablen Baukasten mit über 70 Versuchen.
Bedieneinheit und Abdeckung aus dem Ergänzungssatz 150 ermöglichen mit den Teilen des NKM Baukasten 100 den Aufbau anspruchsvoller elektronischer Geräte wie z. B.

- Millivoltmeter
- Wheatstone Brücke
- Langzeitschalter
- Lichteffektgerät
- Helligkeitsmesser





VEB NUMERIK „KARL MARX" Karl-Marx-Stadt